

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA MARQUES MARTINS

**EVOLUÇÃO DA FORMA DO TRONCO E DO SORTIMENTO EM PLANTIOS DE
Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ**

CURITIBA

2016

ANA PAULA MARQUES MARTINS

**EVOLUÇÃO DA FORMA DO TRONCO E DO SORTIMENTO EM PLANTIOS DE
Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Florestal, no Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias,
da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral
Machado

Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho
Profa. Dra. Ana Paula Dalla
Corte
Prof. Dr. Maurício Romero
Gorenstein

CURITIBA

2016

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Martins, Ana Paula Marques

Evolução da forma do tronco e do sortimento em plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na região centro-sul do Paraná / Ana Paula Marques Martins. – Curitiba, 2016.

78 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Coorientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho; Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte; Prof. Dr. Maurício Romero Gorenstein

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 15/02/2016.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Pinheiro-do-parana. 2. Madeira – Medição. 3. Troncos (Botânica). 4. Manejo florestal. 5. Teses. I. Machado, Sebastião do Amaral. II. Figueiredo Filho, Afonso. III. Dalla Corte, Ana Paula. IV. Gorenstein, Maurício Romero. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. VI. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.52

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ANA PAULA MARQUES MARTINS**, intitulada: "**EVOLUÇÃO DA FORMA DO TRONCO E DO SORTIMENTO EM PLANTIOS DE Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua.....*aprovação*....., completando-se assim todos os requisitos previstos nas normas desta Instituição para a obtenção do Grau de **Mestre em ENGENHARIA FLORESTAL**.

Curitiba, 15 de Fevereiro de 2016.



Prof SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO (UFPR)
(Presidente da Banca Examinadora)



Prof EDILSON BATISTA DE OLIVEIRA (EMBRAPA)



Prof VERIDIANA PADOIN WEBER (UFPR)



A minha família.
DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Sebastião do Amaral Machado, pela confiança e dedicação depositadas em mim e nesta pesquisa, assim como, pelas valiosas contribuições para a minha formação pessoal e profissional. Muito me orgulho por ter sido orientada por ti.

Aos meus co-orientadores, Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte e Prof. Dr. Maurício Romero Gorenstein pelas contribuições para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná e aos professores do mesmo, que de alguma forma expandiram meus conhecimentos, em especial ao Prof. Dr. Júlio Arce.

Aos membros da banca examinadora pelas contribuições para melhoria deste trabalho.

À empresa Araupel S/A pela disponibilidade e zelo nas coletas de dados, em especial ao Engenheiro Florestal Paulo M. Pompermayer pela atenção.

Aos colegas Ronan, Rodrigo, Josmar, Yuri e Mayara pelo auxílio nas coletas de dados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À minha família, meu pai Cleirto e minha mãe Neli, meus irmãos Luiz Henrique e Débora, pelo apoio, incentivo e amor dedicados de forma incondicional.

Ao meu amor, amigo e companheiro Douglas Edson Carvalho pelo carinho, amor e incentivo nessa jornada. Obrigada por acreditar em mim!

À Viviane, Mariana e Jéssica pela amizade, acolhida e convívio durante este período. Com certeza vocês são amigas que levarei para vida toda.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A evolução do afilamento do tronco em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze foi estudada por meio de funções de afilamento e fatores de forma natural e artificial, sendo também analisada a evolução do sortimento produzido. Os dados utilizados foram obtidos por técnica de análise de tronco completa e por cubagem rigorosa de árvores em pé em povoamentos estabelecidos na região de Quedas do Iguaçu, estado do Paraná. Foram amostradas 30 árvores para análise de tronco, em que foram utilizados os dados referentes às idades de 06, 12, 18 e 24 anos, produzindo 120 observações, e 15 árvores para cubagem rigorosa em pé, com 43 anos, totalizando 135 observações. As funções de afilamento ajustadas foram: polinômio de segundo grau; polinômio de quinto grau; polinômio de potências inteiras e fracionárias e o modelo de Garay. O ajuste das funções de afilamento foi realizado para o conjunto total de dados e para os dados estratificados em classes de idade. Após a seleção da função de afilamento, foram construídas curvas de afilamento para as classes de idades. O teste de identidade de modelos de Graybill foi aplicado para verificar possíveis diferenças significativas entre os modelos com estratificação dos dados (reduzido) e sem estratificação dos dados (completo). Os fatores de forma naturais e artificiais foram calculados para todo o conjunto de dados e sua evolução foi avaliada com o avanço da idade. O sortimento florestal foi calculado utilizando o programa FlorExel® utilizando as classes de sortimento: Energia, Celulose, Serraria 1, Serraria 2 e Laminação. O modelo selecionado para a estimativa dos diâmetros ao longo do tronco foi o polinômio de quinto grau. Houveram diferenças significativas na comparação do ajuste do modelo reduzido com os ajustes dos modelos em classes de idade (completo). As análises das curvas de afilamento revelaram uma melhoria da forma das árvores com o aumento da idade, uma vez que as curvas assumem a forma do sólido geométrico paraboloide de modo mais acentuado com o passar dos anos. Os volumes totais médios com casca obtidos por árvore foram 0,919 m³ aos 24 anos e 2,12 m³ aos 43 anos de idade do povoamento. A classe de sortimento Energia teve maior representatividade na classe de idade 6 anos. Volumes para celulose foram produzidos desde a idade de 6 anos, na qual foi mais representativo. Volumes para Serraria 1 começaram a ser produzidos a partir dos 12 anos, assim como para Serraria 2. Volumes para Serraria 2 foram gerados de forma mais relevante entre as idades de 18 a 24 anos. Volumes para laminação foram obtidos a partir da idade 18 anos, porém somente aos 43 anos foi expressivo, com cerca de 60% do volume total médio por árvore.

Palavras-chave: análise de tronco; afilamento do tronco; produção de madeira.

ABSTRACT

The evolution of stem taper in stands of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze was studied by means of taper functions and natural and artificial form factors. It was also analyzed the evolution of the produced assortment. The data used were obtained by complete stem analysis technique and cubage of trees standing of stands established in County of Quedas do Iguaçu, state of Paraná, with a sample of 30 trees for stem analysis, basing on Data at ages 06, 12, 18 and 24 years, producing observation of 120 trees, and from 15 cubed standing trees with 43 years, totaling 135 observations. They were adjusted the following taper function: second-degree polynomial; fifth degree polynomial; polynomial of whole and fractional powers and the model of Garay. The adjustment of the taper functions was performed for the total data set and for data stratified by age classes. After selecting the taper function, taper curves were constructed for the chosen ages classes. The Graybill indentify model test was applied to verify possible significant differences between the full and reduced models. Natural and artificial form factor were calculated for the whole data set and theirs evolution was evaluated with the advancing of age. The forest assortment was calculated using the FlorExel® program using the assortment of classes: Energy, Pulp, Sawmill 1, 2 and Sawmill Lamination. The model selected for the estimation of diameters along the stem was the fifth degree polynomial. There were no significant differences in the reduced model fit compared with the adjustments of the models by age classes (full). The analyzes of the taper curves revealed an improvement in the shape of trees with increasing age. The average total volumes with bark by tree were 0.919 m³ at 24 years and 2.12 m³ at 43-year-old stand. The energy assortment product had greater representation in the age group of six years. Volumes for pulp were produced since the age of six years, being more representative at this age. Volumes for Sawmill 1 began to be produced from the 12 years of age, as well as for Sawmill 2. Volumes for Sawmill 2 were generated in a more relevant way between ages 18-24 years. Volumes for lamination were obtained from age 18, but only was significant at age 43, with about 60% of the total average volume per tree.

Keywords: stem analysis; stem taper; timber production.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FORMAS GEOMÉTRICAS QUE CARACTERIZAM A FORMA DO TRONCO DE UMA ÁRVORE.....	24
FIGURA 2 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS EM QUE O POVOAMENTO DE <i>Araucaria angustifolia</i> DA COLETA DE DADOS ENCONTRA-SE DISTRIBUÍDO.	35
FIGURA 3 - PERFIL DO FUSTE PARA AS IDADES DE 1 A 24 ANOS DA ÁRVORE 1	47
FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR O DIÂMETRO COM CASCA AO LONGO DO FUSTE.	48
FIGURA 5 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA A VARIÁVEL d_i PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS	50
FIGURA 6 - LINHA MÉDIA DE AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO EM RELAÇÃO AOS DADOS OBSERVADOS.....	51
FIGURA 7 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS PARA O AJUSTE DO POLINÔMIO DE QUINTO GRAU PARA AS CLASSES DE IDADE	54
FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DA FORMA DO FUSTE DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE PLANTIOS ORIUNDOS DA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ	55
FIGURA 9 - EVOLUÇÃO DO FATOR DE FORMA NATURAL E ARTIFICIAL PARA <i>Araucaria angustifolia</i>	60
FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DO VOLUME MÉDIO POR ÁRVORE DE <i>Araucaria angustifolia</i>	61
FIGURA 11 - EVOLUÇÃO PERCENTUAL DO SORTIMENTO PARA <i>Araucaria angustifolia</i>	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR OS DIÂMETROS COM CASCA AO LONGO DO TRONCO (d_{cc}) PARA TODAS AS IDADES	38
Tabela 2 - FUNÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM VÁRIAS IDADES DO MUNICÍPIO DE QUEDAS DO IGUAÇU - PARANÁ.....	39
TABELA 3 - CLASSES DE IDADE E NÚMERO DE INDIVÍDUOS EM CADA CLASSE UTILIZADOS PARA O AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO.....	40
TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA O TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS.....	42
TABELA 5 - CLASSES DE SORTIMENTO UTILIZADAS	44
TABELA 6 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DO CONJUNTO DE DADOS	46
TABELA 7 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA NAS DIFERENTES ALTURAS E POR IDADE	48
TABELA 8 - COEFICIENTES ESTIMADOS E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS FUNÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADA PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS	49
TABELA 9 - VALORES DOS COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE SELEÇÃO PARA O POLINÔMIO DE QUINTO GRAU AJUSTADO PARA CLASSES DE IDADE	53
TABELA 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F PARA IDENTIDADE DE MODELOS	57
TABELA 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F DE IDENTIDADE DE MODELOS PARA TODAS AS HIPÓTESES POSSÍVEIS DE COMBINAÇÃO DE CLASSES DE IDADE.....	57
TABELA 12 - FATORES DE FORMA NATURAL ($f_{0,1}$) E ARTIFICIAL ($f_{1,3}$) MÉDIOS POR IDADE PARA <i>Araucaria angustifolia</i>	59
TABELA 13 - EVOLUÇÃO DO VOLUME MÉDIO POR ÁRVORE (m^3) NAS CLASSES DE SORTIMENTO.....	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 GERAL	15
2.2 ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ESPÉCIE	16
3.1.1 Prós e Contras da espécie para plantios florestais	18
3.2 ANÁLISE DE TRONCO.....	20
3.3 CUBAGEM RIGOROSA DE ÁRVORES EM PÉ	22
3.4 FORMA DO TRONCO DE ÁRVORES	23
3.4.1 Fatores que afetam a forma do tronco	24
3.5 MÉTODOS PARA EXPRESSAR A FORMA DO TRONCO.....	27
3.5.1 Fator de Forma.....	27
3.5.2 Quociente de Forma.....	28
3.5.3 Função de Afilamento.....	29
3.6 TESTE DE IDENTIDADE	31
3.7 SORTIMENTO FLORESTAL.....	31
3.8 EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO E DO SORTIMENTO.....	33
4 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	35
4.2 COLETA DE DADOS	36
4.3 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA (ANATRO).....	36
4.4 CUBAGEM RIGOROSA DE ÁRVORES EM PÉ	38
4.5 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA	38
4.6 AJUSTE DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO	39
4.7 SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DE MELHOR DESEMPENHO	41
4.8 EVOLUÇÃO DA FORMA DO TRONCO.....	41
4.8.1 Função de Afilamento.....	41
4.8.2 Fator de Forma.....	43
4.9 SORTIMENTO	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS	46

5.2 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA	48
5.3 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO	49
5.3.1 Ajuste para o conjunto total dos dados	49
5.3.2 Ajuste por classes de idade.....	52
5.4 EVOLUÇÃO DAS CURVAS DE AFILAMENTO	54
5.4.1 Teste de Identidade de Modelos	57
5.5 EVOLUÇÃO DOS FATORES DE FORMA.....	58
5.6 EVOLUÇÃO DO SORTIMENTO	61
6 CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÊNDICE 1 - UTILIZAÇÃO DO SUPLEMENTO ACTION	75

1 INTRODUÇÃO

A espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, conhecida popularmente como araucária ou pinheiro-do-paraná, já foi a principal espécie arbórea brasileira explorada comercialmente. Porém, sua exploração ocorreu de forma extrativista e a madeira foi utilizada sem nenhuma preocupação no início do século XX. Logo, a redução das florestas de araucária, devido a este corte desenfreado, fez com que a espécie fosse inserida na lista de espécies ameaçadas de extinção e sua produção e manejo sofram atualmente, pressões das legislações ambientais.

Apesar da madeira de araucária apresentar características físico-mecânicas superiores se comparadas às de espécies exóticas plantadas no Brasil, como as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, seu cultivo está em declínio há algumas décadas devido aos obstáculos que os produtores enfrentam para sua utilização, gerando desinteresse do produtor rural, substituindo os plantios de araucária principalmente pelos de *Pinus*.

Ainda que a produtividade potencial seja menor do que se obtém hoje com pinus e eucalipto, devem-se considerar as possibilidades de uso múltiplo e os benefícios ambientais do cultivo florestal da espécie. O desenvolvimento de pesquisas que proporcionem um maior entendimento do crescimento, produção e aproveitamento desta espécie pode contribuir para o aumento do interesse de sua utilização em plantios comerciais, possibilitando a retomada da sua competitividade no mercado florestal e assegurando sua sustentabilidade por meio do equilíbrio entre a produção e a conservação.

O mercado demanda cada vez mais de variedade e qualidade de produtos florestais, e as empresas do setor buscam maximizar o aproveitamento de toras, e conseqüentemente, a renda obtida com seus povoamentos investindo na produção de multiprodutos. Neste contexto, as funções de afilamento representam um importante instrumento para atender a estas novas exigências, visto que além de predizer a forma do tronco das árvores, podem estimar os diâmetros a qualquer altura ao longo do fuste e a altura de qualquer ponto com diâmetro pré-determinado, proporcionando a obtenção de volumes de diferentes partes da árvore.

Conhecer como evolui a forma, e conseqüentemente, o sortimento de um povoamento florestal ao longo do tempo é uma importante ferramenta para o planejamento da produção florestal, pois permite a maximização do aproveitamento

da madeira, reduzindo o volume de resíduos gerados e aumentando os lucros (KOHLER, 2013). Dessa forma, os planos de manejo se tornam mais adequados quando elaborados baseados em estudos da forma e sortimento de árvores, auxiliando o manejador florestal a tomar decisões mais seguras de quando e como realizar intervenções na floresta de acordo com as exigências do mercado.

Considerando que os estudos sobre a evolução da forma do tronco e do sortimento florestal são poucos, e devido à relevância deste tipo de estudo para o planejamento das florestas, fica evidente a importância de pesquisas que conduzam ao melhor aproveitamento de madeira e consequentemente maximização da renda dos empreendimentos florestais. Além da relevância econômica destas pesquisas, é necessário destacar o valor de estudos com espécies florestais nativas, que servem também como forma de incentivo à conservação.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar a evolução do afilamento do tronco e do sortimento no decorrer do crescimento de árvores provenientes de plantios comerciais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze localizados na região Centro-Sul do Paraná.

2.2 ESPECÍFICOS

- Reconstituir o perfil do tronco da amostra estudada por classes de idades;
- Avaliar a evolução do afilamento do tronco ao longo do desenvolvimento do povoamento utilizando funções de afilamento e fatores de forma;
- Avaliar a existência de diferenças significativas entre as funções de afilamento para diferentes idades;
- Avaliar a evolução do sortimento de *Araucaria angustifolia* em diferentes classes de idade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A ESPÉCIE

A espécie *Araucaria angustifolia* conhecida popularmente como pinheiro brasileiro, pinho brasileiro ou araucária, é pertencente à família *Araucareaceae*. Foi descrita pela primeira vez por Bertoloni, em 1819, recebendo o nome de *Colymbea angustifolia*. Posteriormente, em 1822, foi descrita novamente por Richard, que desconhecendo a descrição anterior, chamou-a de *Araucaria brasiliiana* e então, foi retificada por Otto Kuntze como *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. (HUECK, 1953).

A. angustifolia é a espécie símbolo do estado do Paraná, pois sua grandiosidade e expressiva dominância caracterizam a Floresta Ombrófila Mista (FOM) que está inserida na área de domínio da Mata Atlântica, e ocupava grande parte deste estado antes da sua devastação pela agricultura e por empresas madeireiras (MAACK, 1981).

Em razão de possuir algumas qualidades, como tronco reto e sem ramificações, a madeira de *A. angustifolia* foi um dos produtos mais importantes para a exportação brasileira durante várias décadas. Estima-se que o Brasil exportou cerca de 18,5 milhões de m³ de madeira extraída, em sua maioria de floresta nativa, entre os anos de 1915 a 1960 (KOCH; CORRÊA, 2010); e entre 1930 e 1990 foram derrubadas cerca de 100 milhões de araucárias (APREMAVI, 2015).

É uma espécie gimnosperma arbórea que atinge de 20 a 50 metros de altura e até 200 cm de dap (diâmetro à altura do peito tomado a 1,30 metros do solo). Possui tronco bastante reto e cilíndrico e raramente ramificado. A copa é cônica na fase juvenil, umbeliforme quando adulta e caliciforme na senilidade. As folhas são simples, alternas, espiraladas, lineares a lanceoladas, coriáceas com até 6 cm de comprimento e até 10 mm de largura (REITZ; KLEIN, 1966; CARVALHO, 1994).

É uma espécie dióica, ou seja, apresenta indivíduos masculinos e femininos. A distinção entre os indivíduos masculinos e femininos é feita com base no formato de suas estruturas reprodutivas (estróbilos), as quais são cilíndricas nos indivíduos masculinos e esféricas nos femininos (FONTES; DAVIDE; DAVIDE, 2001).

As flores masculinas são cilíndricas, alongadas e com escamas coriáceas, tendo comprimento variando entre 10 e 22 cm e diâmetro entre 2 e 5 cm (são menores que os estróbilos femininos). Os estróbilos femininos são popularmente

conhecidas como pinhas. Os pseudofrutos são reunidos no estróbilo feminino com número variável de sementes (até 150); essas por sua vez, são chamadas de pinhão e possuem tegumento duro e endosperma abundante, com 3 a 8 cm de comprimento, por 1 a 2 cm de largura. No centro da amêndoa encontra-se o embrião com os cotilédones (REITZ; KLEIN, 1966; CARVALHO, 1994).

Apresenta especialmente a ocorrência da polinização cruzada, por meio de anemofilia (pólen transportado pelo vento). A maturação do pseudofruto ocorre nos meses de abril e maio, vinte meses após o início da formação das flores femininas (LORENZI, 2000).

A. angustifolia ocorre nas regiões com os tipos climáticos Cfa, Cwb de acordo com a classificação de Köppen e, preferencialmente, no tipo Cfb (CARVALHO, 1994). A espécie concentra-se formando agrupamentos densos, sobretudo na parte leste e central do planalto sul brasileiro nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Também ocorre em ilhas dispersas ao sul e nordeste do estado de São Paulo e mais raramente em algumas partes de Minas Gerais e Rio de Janeiro. E ainda, ocorre na província de Misiones, na Argentina, entre as latitudes de 25°30' e 27° sul (MACHADO; SIQUEIRA, 1980).

O limite leste de ocorrência situa-se entre 20 a 60 quilômetros da costa litorânea, normalmente coincidindo com o divisor de águas da Serra do Mar para os três estados sulinos. Em nenhum momento a araucária encontra o mar, mesmo que de forma isolada. A oeste, a mata das araucárias penetra a Argentina, na província de Misiones. Mais ao norte, a ocorrência registrada da araucária é no Vale do rio Doce, em Minas Gerais. O limite meridional da ocorrência da *A. angustifolia* corresponde as regiões montanhosas do norte do estado do Rio Grande do Sul (MACHADO; SIQUEIRA, 1980).

Segundo Hueck (1972) a ocorrência da araucária no Brasil inclui, primeiramente, as partes mais altas das montanhas do sul, os planaltos das regiões centro ocidental e centro oriental rio-grandense, que apresentam altitudes médias de 600 a 800 metros e em alguns pontos com altitude superior a 1000 metros. O limite inferior para a ocorrência da Araucária situa-se entre 500 e 600 metros de altitude nos estados do sul, porém, mais ao norte este limite mínimo eleva-se em algumas centenas de metros, sendo que nas Serras da Mantiqueira e no Itatiaia a espécie inicia sua ocorrência acima de 1200 metros.

A. angustifolia ocorre sobre diversos tipos de solos, desde os menos férteis, como os derivados de arenitos, como exemplo a região dos Campos Gerais, até os mais férteis, derivados de basalto, no centro-sul e sudoeste do Paraná e oeste de Santa Catarina (SILVA et al., 2001). Quanto a relação espécie-solo, *A. angustifolia* encontra seu habitat para melhor crescimento em Latossolos roxos, profundos e bem drenados (DE HOOGH; DIETRICH, AHRENS, 1978).

A. angustifolia possui vocação para diversos produtos como: madeira serrada e roliça, energia, celulose e papel, resina, além de ser utilizada também para alimentação humana e da fauna silvestre, artesanato, ornamentação e reflorestamento ambiental (CARVALHO, 1994).

Produce madeira de alta qualidade para construções em geral, móveis, forros, molduras, ripas, caixotaria, brinquedos, construção civil e laminação (CARVALHO, 1994; LORENZI, 1992). A madeira serrada e laminada da *A. angustifolia* foi, por um longo período, um dos produtos de maior importância para a exportação brasileira (CARVALHO, 1994). Em relação a produção de energia, grande destaque é merecido ao nó de pinho, que ao contrário da madeira, possui alto poder calorífico, podendo substituir até o coque (CARVALHO, 1994).

Produce celulose de fibra longa, produzindo papel de excelente qualidade, com teores de lignina de cerca de 28,5% e de celulose de 58,3% (CARVALHO, 1994; LORENZI, 1992). A resina, exsudada principalmente da casca, é utilizada na fabricação de vernizes, terebintina, acetona e outros produtos químicos. Os pinhões são fontes de proteína e servem para a alimentação humana e da fauna silvestre. A pinha e o nó de pinho são muito utilizados em artesanatos por apresentar formas atraentes (CARVALHO, 1994).

3.1.1 Prós e Contras da espécie para plantios florestais

Eisfeld et al. (2008) afirmam que a espécie *A. angustifolia* tem os mais diversos usos, destacando-se a produção de pinhões, a madeira e a resina, utilizada para a fabricação de terebintina, acetona e outros produtos químicos. Esses mesmos autores ressaltam a grande importância econômica e ecológica da espécie em todo o estado do Paraná, assim como os demais Estados da região Sul do Brasil.

Segundo Hoppe e Caldeira (2003), apesar da excelente qualidade da madeira para diversos usos, sua importância social, econômica e ecológica, e o grande potencial para a implantação de maciços florestais, a espécie *A. angustifolia* tem sido colocada em segundo plano nos projetos de reflorestamento.

A baixa taxa de plantio dessa espécie se deve, em parte, à exigência de sítios de boa qualidade pela espécie; à falta de conhecimento sobre procedências mais adequadas em plantio com diferentes condições edafo-climáticas; à dificuldade de obtenção de sementes de algumas procedências testadas e aprovadas; à falta de sementes melhoradas geneticamente; à falta de conhecimentos de técnicas silviculturais e nutricionais que proporcionem melhor relação produtividade/custo de produção; e, principalmente, ao seu menor crescimento volumétrico, quando comparada às espécies tradicionalmente plantadas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (HOPPE e CALDEIRA, 2003).

De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Florestal - IBDF (1971), um dos aspectos mais problemáticos da araucária para reflorestamento, está representado pelas elevadas exigências edáficas impostas pela espécie, que pode ser confirmado pelo fato de que, dentro de sua área de ocorrência natural, apenas 25% da superfície dessa área apresenta condições economicamente satisfatórias para o seu cultivo. Nesses locais, onde essa espécie apresenta um rápido crescimento, os custos de implantação e o incremento volumétrico por hectare assemelham-se aos de pinus cultivado nas mesmas regiões, o que pode viabilizar o cultivo da araucária (SCHEEREN et al., 2000).

Segundo a Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná – FUPEF (1978), muitos são os fatores que contribuíram para o baixo investimento nos plantios de araucária, apesar da valiosa madeira de reputação inegável que fornece, dentro os quais se destacam o seu lento crescimento além do elevado custo inicial para a implantação do povoamento. Outro fator importante foi a falta de conhecimento sobre as condições de sítio para o bom crescimento da espécie, o que levou a muitos resultados frustrados em plantações da espécie em sua área nativa, o sul do Brasil (DE HOOGH e DIETRICH, 1979)

Koehler (2009) afirma que os plantios florestais no Brasil iniciaram no início do século passado, e a partir da década de 1960 grandes empresas implantaram grandes maciços florestais, porém, infelizmente a maioria dos plantios de araucária não correspondeu às expectativas, enquanto que os resultados obtidos com o

eucalipto e pinus eram cada vez mais promissores conduzindo os investimentos para as essências exóticas.

Segundo Nutto (2001), o manejo e a utilização da madeira de araucária enfrentam várias restrições devido a esta espécie estar ameaçada de extinção, porém, é sabido que uma restrição de uso de um recurso natural dificilmente é aceita por uma população quando existe a necessidade de seu uso como matéria-prima ou como fonte de rendimento. Desse modo, esse mesmo autor afirma que a proteção via proibição do uso, significa uma desvalorização do bem que, em muitos casos, tem como consequência a perda de interesse na conservação da matéria-prima.

Nesse contexto, confrontando o baixo crescimento em relação à exóticas plantas, como já discutido, Nutto (2001) destaca pontos a favor do uso da araucária, como por exemplo: espécie de alto valor ecológico; ocorre em florestas nativas; minimização do risco de produção por causa da boa adaptação de espécies nativas; e, madeira de alta qualidade e valor nos mercados nacionais e internacionais.

É certo que o cultivo da araucária é vantajoso do ponto de vista ambiental e, em muitos casos, do ponto de vista comercial. O ponto de partida para a definição da espécie a ser plantada deve ser a definição dos objetivos do plantio, e então, a partir daí, definir a localização adequada e os métodos silviculturais que serão empregados. Ainda que a produtividade potencial seja menor do que se obtém hoje com espécies exóticas, é necessário ponderar as possibilidades de uso múltiplo e os benefícios ambientais do cultivo florestal da araucária (KOEHLER, 2009).

3.2 ANÁLISE DE TRONCO

O acompanhamento do desenvolvimento da floresta é de grande interesse para o manejador florestal, pois a partir dessas informações é possível realizar o planejamento de ações de intervenção na área. Estas informações podem ser obtidas, em geral, por meio de parcelas permanentes e com análise de tronco.

Segundo Campos e Leite (2006) as parcelas permanentes constituem uma fonte de dados muito eficaz quanto às informações referentes a dinâmica da floresta, pois permite além das informações de crescimento de cada árvore, também avaliar as taxas de mortalidade e ingresso de árvores na parcela. A principal limitação do inventário contínuo, utilizando parcelas permanentes, são os custos envolvidos com a manutenção e remedição das mesmas (KOEHLER, 2009).

Quando este tipo de informação é inexistente, é necessário recorrer à análise de tronco (ANATRO) que, segundo Husch, Miller e Beers (1982), é uma técnica que possibilita o registro do crescimento passado de uma árvore, revelando incrementos em diâmetro, em altura, mudanças na forma da árvore no decorrer do tempo, e ainda, respostas à mediações realizadas no plantio. A análise de tronco é utilizada no intuito de facilitar a obtenção de dados e consequentemente reduzir os custos do inventário, pois permite a obtenção de um extenso conjunto de dados apropriados para ajustes de equações de forma rápida em relação às parcelas permanentes (THOMAS et al., 2006).

Nutto et al. (2012) afirmaram que vários autores vêm utilizando este método de estudo do crescimento para desenvolver curvas de classificação de sítio, elaboração de tabelas de produção, estudo do crescimento em situações onde não há remediações de parcelas, e ainda, em estudos nas áreas de dendrocronologia que se baseiam na análise retrospectiva do crescimento. Esses autores apontaram que a grande limitação do uso desta técnica é que a espécie na qual será aplicada deve apresentar um registro evidente entre o fim e o início de um período de crescimento, ou seja, nitidez dos anéis de crescimento. Sabe-se que a maioria das espécies folhosas não apresenta esse comportamento que é mais comum nas coníferas.

Encinas, Silva e Pinto (2005) alertam que é necessária atenção no momento da leitura dos anéis, pois é possível ocorrer a formação de falsos anéis, produzidos em decorrência de sucessivos períodos curtos de seca e chuvas, ataque de insetos, doenças, geadas e outros fatores, resultando em mais de um ciclo de crescimento durante o período de um ano.

Duas são as formas que a análise de tronco pode ser realizada: parcial e completa. A análise de tronco completa consiste em um método destrutivo em que é realizada a derrubada da árvore e a coleta de discos em alturas absolutas ou relativas previamente estabelecidas. Posteriormente, esses discos são transportados para secagem, lixamento e finalmente marcação e leitura dos anéis. De acordo com Daniel e Yared (1987), a espessura recomendada para os discos é de pelo menos 5 a 10 cm para evitar rachaduras e facilitar a secagem e manuseio das amostras. Esses autores ainda recomendaram que os discos sejam numerados em campo, com canetas de tinta permanente, fitas rotuladoras ou adesivos.

A análise de tronco parcial é um método não destrutivo, ou seja, não é necessária a derrubada da árvore, nessa técnica os rolos de incremento são

retirados da árvore com o auxílio do trado de Pressler. É recomendada a retirada de duas amostras de cada árvore com um ângulo de 90° entre os pontos de amostragem e geralmente a 1,30 metros do solo (PRODAN, 1965).

As pesquisas envolvendo anéis de crescimento são muito utilizadas em regiões de clima temperado, que apresentam estações bem definidas, para obter informações sobre crescimento, mudanças ambientais e para embasar planos de manejo florestal (SPIECKER, 2002).

3.3 CUBAGEM RIGOROSA DE ÁRVORES EM PÉ

Cubagem rigorosa de árvores em pé também pode ser chamada de cubagem não destrutiva e é um método indireto que pode ser utilizado para a obtenção do volume e da biomassa requerendo a mensuração de diâmetros ao longo do fuste sem que a árvore seja derrubada; além de relevância econômica, essa técnica torna-se importante em áreas de conservação ambiental onde as árvores não podem ser abatidas (NICOLETTI, 2011).

A realização de uma cubagem rigorosa não destrutiva no povoamento contribui para redução dos custos totais com o inventário florestal, uma vez que essa atividade pode ser realizada simultaneamente às medições das demais variáveis do povoamento (LEITE; ANDRADE, 2002). Essa prática se tornou viável a partir do desenvolvimento de aparelhos capazes de mensurar os diâmetros a uma distância conhecida, como os dendrômetros ópticos e digitais, o uso desses equipamentos eliminou a necessidade de escalada em árvores para a medição de variáveis com sutas e fitas métricas (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

É possível encontrar no mercado inúmeros dendrômetros capazes de medir o diâmetro ao longo do fuste de forma indireta, como o Relascópio de Bitterlich, o Pentaprisma de Wheeler, o dendrômetro digital Criterion modelo 400 e RD1000, entre outros (NICOLETTI; SILVA; FLORIANI, 2015; NICOLETTI, 2011).

O Criterion RD1000 é um dendrômetro digital desenvolvido pela empresa Laser Technology, Inc. e é essencialmente um dispositivo óptico que fornece resultados em tempo real para os cálculos relacionados ao fator de área basal, altura e diâmetro (LASER TECHNOLOGY, INC., 2006).

Rodriguez e Fernández (2009) afirmaram que o Criterion RD1000 permite realizar medidas de área basal e utilizando o sensor de inclinação integrado, é

possível medir diâmetros em qualquer ponto do fuste, assim como a altura de qualquer diâmetro determinado. Esses mesmos autores alegam que os melhores resultados para estimativas de variáveis são obtidas quando o Criterion RD 1000 é posicionado em uma localização ótima, correspondente a aproximadamente a altura total da árvore, e em local que seja possível observar a maior parte do fuste da árvore a ser medida.

Nicoletti, Silva e Floriani (2015) mensurando diâmetros utilizando suta e Criterion RD1000 constataram que a distribuição residual apresenta uma variação em torno de 40% dos resíduos nas menores posições do fuste, tendendo a diminuir ao longo do mesmo. Esses mesmos autores observaram que as árvores de menor porte tiveram maior dispersão do erro se comparadas àquelas de grande porte; para esse estudo o erro médio independente do DAP das árvores tendeu a permanecer subestimado próximo aos 10%.

Oliveira et al. (2012) avaliaram o uso do Criterion RD1000 para estimativas de diâmetro ao longo do fuste em árvores de eucalipto e constataram por meio do teste *t* que não houve diferença significativa entre os DAPs mensurados com o Criterion e com a suta, esses autores concluíram que a metodologia estudada é promissora para a condução de levantamentos das variáveis dendrométricas.

Oliveira (2013) também avaliou o Criterion RD1000 e outros equipamentos para mensuração de diâmetros e quantificação de volume, e concluiu que não houveram diferenças significativas nas estimativas produzidas a 95% de probabilidade. A eficiência do equipamento para quantificação de volume foi atestado por alguns autores como por Rodriguez et al. (2014) e Yoon et al. (2013); e para medição de diâmetro de árvores muito grandes por Rutten et al. (2015).

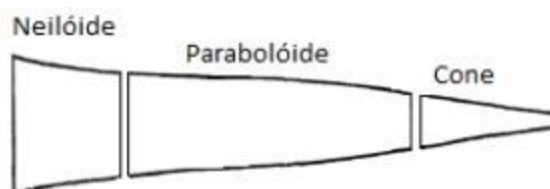
3.4 FORMA DO TRONCO DE ÁRVORES

É de conhecimento consagrado da literatura florestal que árvores de mesma altura e mesmo diâmetro à altura do peito podem apresentar volumes diferentes, e isto ocorre quando a forma dos troncos é diferente.

Fazer referência a alguns sólidos geométricos conhecidos, como parabolóides, neilóides, cones e cilindros, é uma prática comum na ciência florestal a fim de facilitar o cálculo do volume do fuste (CAMPOS; LEITE, 2006). No entanto, o tronco de uma árvore pode apresentar diferentes formas, e conseqüentemente, não

se assemelha com apenas um sólido, e deste modo, o tronco das árvores pode ser geometricamente descrito como um neilóide na base, um parabolóide no centro e um cone no topo (Figura 1) (HUSCH; MILLER; BEERS, 1982).

FIGURA 1 - FORMAS GEOMÉTRICAS QUE CARACTERIZAM A FORMA DO TRONCO DE UMA ÁRVORE



Os limites dos pontos de transição desses sólidos são de difícil determinação nos troncos, tendo na prática pouca importância (KOHLE, 2013). Entretanto, desempenham um grande valor teórico na definição de expressões matemáticas que descrevem a forma do fuste (FIGUEIREDO FILHO, 1991).

Segundo Prodan et al. (1997), a forma da árvore é uma variável que não pode ser medida como o diâmetro e a altura, porém é possível estabelecer parâmetros ou índices que a representam a partir de variáveis dendrométricas, esses índices são expressões como o fator de forma, quocientes de forma e funções de afilamento de fuste.

A forma dos fustes das árvores varia muito entre espécies, e também entre indivíduos da mesma espécie devido a carga genética e a interação com o ambiente. Esta variação ocorre principalmente devido a alguns fatores como: condições de sítio; espaçamento inicial; tratamentos silviculturais; posição sociológica; e ao longo da idade (LARSON, 1963; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011).

3.4.1 Fatores que afetam a forma do tronco

Como mencionado anteriormente, a forma das árvores varia de indivíduo para indivíduo devido alguns fatores, dentre os quais podem ser citados:

- a. Influência da copa: A dimensão da copa é um dos fatores mais influentes na forma dos troncos das árvores, pois quando a copa é vigorosa a árvore tende a ser menos cilíndrica do que árvores que possuem copas menos expressivas. O desenvolvimento da copa depende do espaçamento entre as árvores; espaçamentos menos adensados resultam em copas maiores e mais vigorosas, que por sua vez

exerce grande influência sobre os padrões de crescimento da árvore e, conseqüentemente, na forma do tronco (LARSON, 1963).

Em relação à idade, a copa também sofre mudanças significativas. Geralmente, árvores jovens apresentam copas compridas e forte afilamento do tronco. Com o crescimento do povoamento e início da competição, há uma desrama natural e conseqüente diminuição no comprimento de copa, o que, associado a outros fatores, resulta no decréscimo do afilamento do tronco principal (LARSON, 1963).

Basicamente, as mudanças na forma das árvores em resposta aos demais fatores citados a seguir se deve as mudanças no comprimento da copa que cada fator proporciona. Hartig¹ (1871 citado por Larson, 1963) indicou que a idade, espaçamento e o sitio tem influência na forma do fuste em consequência de seus efeitos sobre o desenvolvimento da copa, porém Hampel² (1929 citado por Larson, 1963) salienta que a dimensão da copa não é necessariamente o único diferencial do afilamento entre diferentes sítios.

b. Idade: O tronco das árvores tendem a ser mais cilíndricos ao longo do tempo, pois, quando jovens crescem sem muita competição e suas copas geralmente são mais longas gerando forte afilamento. Na medida em que a árvore se desenvolve e começa a competir por espaço, há uma desrama natural e o crescimento primário é favorecido em consequência da competição por luz, então, a árvore tende a melhorar a forma, ou seja, tornar-se mais cilíndrica (SCOLFORD; THIERSCH, 2004).

Dentro desta tendência natural de melhoria no afilamento do tronco, é importante ressaltar que nas idades mais jovens a mudança da forma é muito rápida, enquanto que nas fases mais maduras a forma muda vagarosamente. Esta taxa de mudança de afilamento em relação à idade pode ainda variar entre as diferentes classes de copas ou posições sociológicas no mesmo povoamento (FRIEDL, 1989).

c. Desbaste: Flury³ (1903 citado por Larson, 1963) afirmou que quando se realiza o desbaste, a competição entre as árvores do povoamento diminui, o crescimento em diâmetro é favorecido e, dessa forma, contribui para o aumento do

¹HARTING, R. **Ueber das Dickenwachsthum der Waldbäume**. Z. Forst- u. Jagdw. 3:66-104. 1871.

²HAMPEL, R. **Untersuchungen fiber die Schaftform der Waldbäume**. Centr. ges. Forstw. 55:167-189; 201-24-2. 1929.

³FLURY, P. **Einfluss verschiedener Durchforstungsgrade auf Zuwachs und Form der Fichte und Buche**. Mitt. Schweiz. Central-anstalt forstl. Versuchsw. 7:1-246. 1903.

afilamento. Mas, com desbastes leves, na maioria das vezes, as árvores ficam com menos galhos e os fustes mais cilíndricos do que quando realizados desbastes pesados.

Scolforo e Thiersch (2004) afirmaram que populações que estão sujeitas a desbastes leves, tendem a apresentar árvores menos cônicas, ou seja, dependendo da intensidade do desbaste, há uma melhoria na forma das árvores. Esses autores justificam tal afirmação devido a ocorrência de um crescimento maior na área transversal da base da copa do que ao nível do dap. Porém, os mesmos alertaram que à medida em que o desbaste se torna mais agressivo, há uma piora na forma das árvores.

d. Posição sociológica: Quando se refere à posição sociológica, Scolforo e Thiersch (2004) afirmaram que a forma das árvores basicamente é influenciada pelo tamanho da copa, que por sua vez é influenciada pela área livre para o crescimento, ou seja, para árvores dominantes, que tem suas copas crescendo mais livres e conseqüentemente são maiores, a conicidade também é maior; já para árvores dominadas, que tem o crescimento de sua copa menos favorecido devido a competição sofrida, tendem a apresentar troncos mais cilíndricos. Esses autores ainda concluem que este fato se deve ao menor crescimento relativo das árvores dominantes em altura, em relação ao diâmetro.

e. Espaçamento: A diferença entre a forma das árvores que crescem em espaçamentos mais adensados é muito expressiva em relação àquelas que crescem livres de competição. As árvores que se desenvolvem isoladamente, possuem copas vigorosas e não investem seu crescimento em altura, tendo portanto, troncos muito afilados. Porém, as árvores sob competição, ou seja, em espaçamentos mais reduzidos, investem mais em crescimento em altura e possuem copas menos vigorosas, o que promove uma melhoria significativa na forma da árvore (LARSON, 1963; SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Para Braathe⁴ (1953 citado por Larson 1963) o afilamento fica próximo do ideal em árvores que crescem em áreas mais densas, e deixam a desejar em árvores que crescem em espaçamentos menos adensados.

f. Podas: A poda ou desrama tende a melhorar a forma da árvore, pois com esta prática, a copa das árvores é reduzida e o crescimento em diâmetro das porções mais acima de onde a poda foi realizada é favorecido, enquanto que o

⁴ BRAATHE, P. **Investigations on the development of (unthinned) sparse regeneration of spruce.** Medd. Norske Skogforsoksv. 12:209-301. 1953.

incremento nos diâmetros da base é interrompido (LARSON, 1963; SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Porém, o efeito da poda depende muito da severidade, da época em que é aplicada e das características das copas das árvores (KOHLE, 2013).

g. Qualidade de sítio: Sítios menos produtivos tendem a produzir árvores com piores formas do que aqueles mais produtivos devido ao crescimento irregular ao longo do tronco ocorrido nas árvores que se desenvolvem nesses sítios (SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Em sítios de baixa capacidade produtiva, o crescimento em altura para árvores de mesmo diâmetro é menor, e, como consequência, o fuste é mais afilado. Enquanto que em sítios mais produtivos, o crescimento das árvores e o desenvolvimento da copa é maior e mais homogêneo, contribuindo para a melhora no afilamento dos troncos (FIGUEIREDO FILHO, 1991)

3.5 MÉTODOS PARA EXPRESSAR A FORMA DO TRONCO

3.5.1 Fator de Forma

Fator de forma é a razão entre o volume cubado da árvore e o volume do cilindro com diâmetro e altura iguais aos da árvore. O fator de forma é um fator de redução do volume do cilindro para obtenção do volume das árvores (PRODAN et al., 1997). Na medida em que o fator de forma se aproxima de 1 mais cilíndrica é a árvore, mas, fatores iguais a 1 não são encontrados, devido ao afilamento ao longo do tronco (FINGER, 1992).

Segundo Prodan et al. (1997), o fator de forma pode ser natural ou artificial, dependendo da altura em que o diâmetro de referência do cilindro for mensurado. De tal modo que, se o diâmetro for medido a uma altura relativa é chamado fator de forma natural, e se o diâmetro de referência for tomado a uma altura absoluta é chamado fator de forma artificial. Geralmente para o fator de forma artificial, o diâmetro de referência é tomado a 1,30 metros do solo (dap), e para o fator de forma natural, a 10% da altura total da árvore.

O fator de forma natural ($f_{0,1}$), ou verdadeiro, foi introduzido por Hohenadl em 1924 e é definido como a razão entre o volume cubado da árvore e o volume de um cilindro com diâmetro e altura igual ao da árvore, sendo o diâmetro tomado a 10% da altura total da árvore, isto é $d_{0,1}$.

Apesar de o fator de forma de Hohenald ou natural ser mais eficiente, ao nível de campo, o fator de forma artificial é mais simples de ser utilizado, pois é mais fácil medir o dap do que fazer o cálculo de 10% da altura de cada árvore amostrada (SCOLFORO; FIGUEIREDO FILHO, 1998).

O fator de forma, seja natural ou artificial, é utilizado como uma expressão numérica da forma da árvore, e é empregado para o cálculo de volume de forma simples, multiplicando-o pela área transversal e altura total da árvore. Segundo Finger (1992), o fator de forma é a terceira variável dendrométrica de maior importância na determinação volumétrica, estando logo após do diâmetro e da altura.

Figueiredo, Schroeder e Papa (2009) ressaltaram que o fator de forma é uma alternativa antiga que fornece estimativas volumétricas confiáveis, desde que se tenha conhecimento da tipologia florestal, espécie e classe diamétrica. Ele deve ser utilizado em situações em que as informações sobre a forma da árvore forem escassas ou, ainda, quando for necessária a determinação rápida do volume do fuste.

3.5.2 Quociente de Forma

Quociente de forma pode ser definido como a razão entre dois diâmetros: um diâmetro tomado em uma parte superior do fuste, e um diâmetro de referência, normalmente o dap (PRODAN et al., 1997). Esse coeficiente também possui a função de corrigir o volume cilíndrico para o volume sólido do tronco. Embora menos preciso que o fator de forma, sua obtenção é mais fácil, uma vez que não é necessário fazer a cubagem da árvore.

Os quocientes de forma representam bem a forma do tronco da árvore, e servem como variáveis independentes no ajuste de equações para estimar o afilamento (FINGER, 1992). Na literatura florestal existem diversos quocientes de forma, cada qual levando o nome de seu autor, e diferenciam-se basicamente pelas posições em que os diâmetros de referência são mensurados.

Husch, Miller e Beers (1982) realizaram um breve histórico sobre quocientes de forma e citaram alguns dos mais relevantes, como o quociente de forma normal ou de Schiffel, expresso pela razão entre o diâmetro na metade da altura da árvore e o dap. Porém, segundo esses autores para este quociente de forma, quando a altura

da árvore diminui, a posição do diâmetro superior se aproxima do ponto de altura do peito, até que, em uma árvore cuja altura é de 2,6 m, eles coincidem. Então, para corrigir tal anomalia, Husch, Miller e Beers (1982) mencionaram o quociente de forma absoluto, ou quociente de Jonson, que mudou a posição do diâmetro superior para um ponto médio entre a altura do peito e a altura total do fuste.

Outro importante quociente de forma citado por Husch, Miller e Beers (1982) é o quociente de Girard; esse quociente de forma foi desenvolvido para uso como variável independente na construção de tabelas de volume, o qual é a razão percentual entre o diâmetro no topo da primeira tora comercial padrão (17,3 pés ou 5,27 m), em relação ao dap.

Assim como o fator de forma, o volume de uma árvore pode ser estimado multiplicando-se o volume cilíndrico pelo quociente de forma (SCOLFORO; THIERSCH, 2004).

3.5.3 Função de Afilamento

Gray (1956) definiu afilamento como sendo a taxa de redução do diâmetro em relação ao aumento da altura de um corpo ou forma. Então, para a ciência florestal, os modelos de afilamento representam a variação diamétrica ao longo do fuste e permitem representar o perfil longitudinal do fuste das árvores (SANQUETTA et al., 2014; SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011; PRODAN et al., 1997).

Segundo Môra (2015), os as primeiras tentativas de desenvolver funções de afilamento para descrever a relação entre o diâmetro e altura concentravam-se principalmente em descrever a parte comercial do tronco e eram relativamente simples, como as fórmulas de Höjer 1903, Jonson 1910 e 1911 e Behre (1923) (BEHRE⁵, 1923 citado por MÔRA).

Como a demanda por produtos florestais cresce constantemente e as áreas para a produção diminuem, o manejo de áreas florestais tornou-se mais intensivo nas últimas décadas, e então, a necessidade de que as funções de afilamento produzissem estimativas mais acuradas que descrevessem o perfil ao longo do tronco tornou-se maior (NEWNHAM, 1992; MÔRA, 2015).

⁵ BEHRE, C. E. **Preliminary notes on studies of tree form**. Journal of Forestry, v.21, 507-511, 1923.

Nesse contexto, Môra (2015) afirma que inúmeras abordagens foram testadas, uma vertente das pesquisas foi concentrada na elaboração de uma função dividida em cada porção do fuste, com a ressalva de que as funções unam-se suavemente em cada ponto de aderência como a função de Max e Burkhardt (1976); e outra direção dessas pesquisas foi utilizar funções polinomiais individuais, incluindo seis ou mais variáveis nas equações de regressão, até com potências elevadas principalmente para assegurar bons resultados na base do fuste. Esse mesmo autor afirma que outras metodologias mais sofisticadas também foram estudadas e incluem a análise de componentes principais, funções splines cúbicas, e o método de diâmetro no ponto de Ormerod.

Campos e Leite (2006) afirmaram que as equações de afilamento do fuste permitem estimar o diâmetro em qualquer altura ao longo do tronco, assim como estimam a altura a qualquer diâmetro determinado. Por transformações algébricas na equação, estima-se também o volume total ou volume de qualquer seção do fuste, além da altura total ou comercial até um diâmetro definido. Segundo Prodan et al. (1997), estas funções são utilizadas quando se tem o interesse em conhecer o volume até qualquer ponto do fuste, ou entre quaisquer porções do tronco, podendo-se assim fazer estimativas de sortimento.

Duas propriedades são desejáveis para os modelos de afilamento. Uma delas é que quando a altura da seção (h_i) atingir o valor da altura total (h_t), então o diâmetro da seção deve ser igual a zero ($d_i=0$). A outra propriedade desejável é que o diâmetro estimado para a altura de 1,3 m seja igual ao dap medido (CAMPOS; LEITE, 2006).

Os modelos de afilamento podem ser classificados basicamente em: modelos simples e modelos segmentados. Os modelos simples são aqueles que a forma do fuste da base até o ápice é representada por uma única função, e os modelos segmentados constituem uma variação dos modelos polinomiais, sendo que são ajustados com mais de uma seção do fuste (CAMPOS; LEITE, 2006).

Silva (2007) afirmou que o uso destas equações de afilamento é uma prática comum em empresas do sul e sudeste do Brasil para o manejo de seus povoamentos florestais e uso de multiprodutos, sendo que a madeira é o principal produto.

3.6 TESTE DE IDENTIDADE

Devido aos inúmeros fatores que influenciam na forma do tronco, é difícil escolher a maneira certa de estratificar os dados e proceder aos ajustes de funções de afilamento visando a maior acurácia das estimativas. Desse modo, o teste de identidade de modelos se destaca, pois, é uma técnica que visa testar a existência de diferença estatisticamente significativa entre esses fatores por meio de análises estatísticas (QUEIROZ et al., 2008).

Dentre os testes conhecidos, destaca-se o descrito por Graybill (1976) e demonstrado por Regazzi (1993). Este teste permite, entre outras aplicações, fazer a avaliação do comportamento de uma ou mais variáveis em que se tenha interesse entre diferentes espécies; construir curvas de sítio em um empreendimento florestal com vários clones de uma dada espécie; e ainda, testa a possibilidade de agrupar os modelos de afilamento nas diferentes classes de idade (QUEIROZ et al., 2008; KOHLER, 2013).

Em relação ao agrupamento em classes de idade, este teste faz a comparação de modelos polinomiais, verificando a partir da análise de variância e do teste F, a existência de diferença entre a soma dos quadrados das regressões ajustadas para cada classe de idade e a soma dos quadrados da regressão ajustada para o conjunto de todas as idades, ou seja, testa a necessidade de ajustar equações de afilamento com os dados estratificados por classes de idade ou não (KOHLER, 2013).

3.7 SORTIMENTO FLORESTAL

Segundo Arce (2000), é sensato crer que nenhuma árvore deveria ser cortada sem antes saber, com um nível confiável de precisão, quantos e quais tipos de produtos poderiam ser obtidos a partir dela, assim como para o povoamento em sua totalidade, cabe um raciocínio semelhante. Neste contexto surge a importância do sortimento florestal, que é o termo utilizado para resumir a avaliação comercial quali-quantitativa da floresta em pé a partir de uma lista de diferentes multiprodutos. O sortimento é um dos indicadores diagnóstico na tomada de decisões referentes ao manejo florestal.

Uma das grandes dificuldades do manejador florestal, em especial da avaliação econômica de povoamentos florestais, está na inexistência de tabelas de sortimento adequadas que possibilitem determinações rápidas do estoque de madeira para diferentes tipos de aproveitamento (SOUZA et al., 2008). Por esta razão, diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de descrever a classificação dos fustes segundo a qualidade, dimensões e possibilidades de uso, aprofundando, além da classificação física, maximização da renda obtida da madeira devido à destinação de toras de diversas bitolas ao mercado específico (SCHNEIDER et al., 1996).

Não há dúvidas de que a diversificação na oferta de produtos é um parâmetro essencial para o desenvolvimento florestal, e para proporcionar diferentes usos ao tronco de uma árvore, é necessário conhecer sua forma, a qual determinará o método de processamento (ANGELO et al., 1997). Neste contexto, as funções de afilamento se mostram uma excelente opção para quantificação dos sortimentos dos povoamentos florestais, pois, a gama de informações que elas propiciam tem levado ao desenvolvimento de diferentes técnicas de modelagem do perfil dos fustes das espécies florestais (SOUZA et al., 2008).

No mercado florestal, as tabelas de sortimento geralmente envolvem produtos como: resíduos, energia, celulose, madeira para serraria e para laminação. Essas classes de sortimento são definidas com base em diâmetros (com casca) mínimos de uso, denominados de diâmetro de topo ou diâmetros na ponta fina, e no comprimento das toras (FIGUEIREDO FILHO et al., 2015). Para araucária, algumas classes de sortimento são encontradas, como por exemplo: 8,0 cm - 17,9 cm para celulose; 18 cm - 23,9 cm, 24 cm - 29,9 cm, 30 cm - 39,9 cm para serrarias; e > 40 cm para laminação (BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL- BRDE, 2005; SISTEMA DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO - SISFLOR, 2008); e 5 cm – 7,9 cm para energia; 8 cm – 15,9 cm para celulose; 16 cm – 22,9, 23 cm – 34,9 para serrarias; e > 35 cm para laminação (FIGUEIREDO FILHO et al., 2015).

Quanto ao mercado florestal, segundo a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná – SEAB (2012) o preço das toras de araucária seguia em forte tendência de subida naquele ano, fato que poderia ser explicado pela escassez desta espécie no mercado. Nesse boletim publicado pela SEAB, as toras foram classificadas em duas classes de sortimento, as quais alcançavam em média R\$

170,00/m³ para toras com diâmetro inferior que 35 cm e R\$ 222,00/m³ para toras com diâmetro superior a 35 cm.

3.8 EVOLUÇÃO DO AFILAMENTO E DO SORTIMENTO

Estudos sobre a forma e o afilamento do fuste de árvores têm sido realizados por mais de um século e continuam sendo temas de vários estudos na pesquisa florestal (MÔRA, 2015). Apesar dos termos forma e afilamento serem usados muitas vezes indistintamente, a forma faz referência à forma geométrica do fuste: neilóide, parabolóide e cone; enquanto que o afilamento refere-se à taxa de decréscimo de diâmetro em relação com o aumento da altura no tronco (NEWNHAM, 1992).

Na pesquisa florestal, estudos do afilamento do fuste de árvores são realizados basicamente por duas abordagens: baseados em relações simples (fator de forma; cociente de forma e pontos de forma), e baseados em funções mais complexas, como funções de afilamento (CANCINO, 2006).

O estudo da forma do fuste é fundamental para a determinação e otimização dos sortimentos da árvore e do povoamento, o que é muito importante para a produção florestal (FIGUEIREDO FILHO et al. 2015). O conhecimento da forma do fuste em um dado momento e a sua evolução ao longo do tempo é fundamental para o planejamento de uso da matéria-prima produzida, sendo, também, indispensável na modelagem do crescimento e da produção em classes de diâmetro (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014). Alguns estudos têm sido realizados a fim de conhecer as influências de alguns fatores como sítio, posição sociológica e idade na forma do fuste das árvores e consequentemente no sortimento.

Burger, Machado e Hosokawa (1979) estudaram o desenvolvimento da forma de *A. angustifolia*, com 52 árvores de 28 anos em média, a partir de dados de análise de tronco, e concluíram que a idade exerce bastante influência na forma geométrica das árvores, pois a mesma melhora constantemente com o passar dos anos. Friedl (1989) avaliando o efeito da idade, sítio e posição sociológica na forma dos fustes de árvores de *A. angustifolia*, também notou uma forte influência da idade sobre a forma, sendo que esta melhorou com a idade.

Figueiredo Filho et al. (2014) estudaram a dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *A. angustifolia* e concluíram que os

troncos tornam-se mais cilíndricos com o avanço da idade; e quanto a evolução do sortimento, esses autores constataram que volumes para serraria foram produzidos a partir dos 10 anos de idade para os sítios mais produtivos e aos 15 anos para sítios menos produtivos. Para Laminação obteve-se volume aos 35 anos em sítios mais produtivos, e em sítios menos produtivos não foi possível retirar madeira para laminação aos 50 anos.

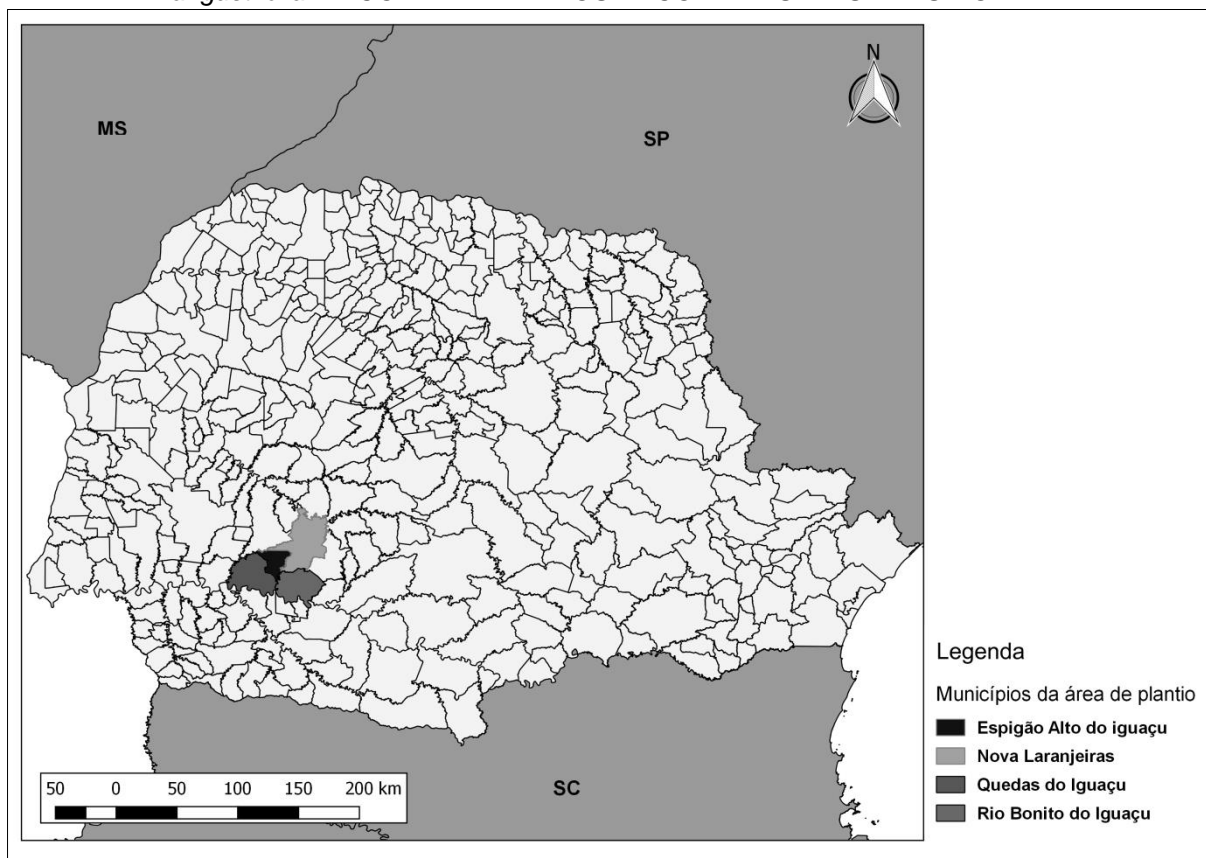
Além desses autores, outros pesquisadores constataram o efeito altamente significativo da idade na melhoria da forma do fuste, e estudaram também como o sortimento evolui com o avanço da idade; para *A. angustifolia* por Figueiredo Filho et al. (2015); e para *Pinus taeda* por Kohler (2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados foram obtidos em plantios comerciais da empresa Araupel S/A, que tem sua sede no município de Quedas do Iguaçu, região Centro-Sul do Paraná. A empresa administra aproximadamente 14.400 hectares de florestas plantadas, sendo que aproximadamente 2000 ha com plantios de *A. angustifolia*. Os povoamentos estão distribuídos nos municípios de Rio Bonito do Iguaçu, Nova Laranjeiras, Espigão Alto do Iguaçu e Quedas do Iguaçu (ARAUPEL, 2015) (Figura 2).

FIGURA 2 - MAPA DA LOCALIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS EM QUE O POVOAMENTO DE *Araucaria angustifolia* DA COLETA DE DADOS ENCONTRA-SE DISTRIBUÍDO.



FONTE: A AUTORA (2016).

A região Centro-Sul do Paraná está localizada no terceiro planalto paranaense e apresenta relevo fortemente ondulado (MAACK, 1981). De acordo com a classificação de Köppen, a região do município de Quedas do Iguaçu

apresenta clima do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, tendo uma tendência de concentração das chuvas nos meses de verão. A temperatura média do mês mais quente é maior que 22°C e do mês mais frio, menor que 18°C, não apresentando estação seca definida (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR, 2015). Os tipos de solos encontrados com predominância na área de estudo são basicamente Latossolos e Nitossolos (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2012).

4.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada em duas etapas: na primeira etapa, foram batidas 30 árvores com 24 anos, que foram plantadas por meio de semeadura direta e com espaçamento inicial da entrelinha de 3 metros; após um ano foi realizado o “raleio”, visando espaçamento final de 3 x 2 metros. Foram realizadas podas com 4, 5 e 6 anos de idade, e dois desbastes: o primeiro desbaste sistemático/seletivo aos 18 anos e o segundo desbaste apenas seletivo aos 22 anos.

Para a segunda etapa da coleta de dados, foram mensuradas 15 árvores, essas árvores encontravam-se em uma área de plantio antigo que foi incorporada às áreas de preservação da empresa e por este motivo essas árvores foram impossibilitadas de serem derrubadas. O plantio foi realizado em 1972, com os mesmos métodos silviculturais da amostra da primeira etapa. Estes dados foram coletados para complementação das análises por possuírem idades superiores a 24 anos, neste caso, 43 anos.

4.3 ANÁLISE DE TRONCO COMPLETA (ANATRO)

Para a realização da ANATRO foram abatidas trinta árvores de *A. angustifolia* selecionadas de acordo com a distribuição diamétrica encontrada no local com dap's de 20 a 50 cm. Depois de selecionada a árvore a ser abatida, foram medidas e marcadas com giz as alturas de 0,70 e 1,30 metros do solo com trena, e então realizado a medição do diâmetro à altura do peito com a suta. Com a árvore derrubada, a trena foi esticada fazendo com que os pontos de 0,70 e 1,30 metros coincidisse com o ponto previamente definido e então marcadas as seções 0,10;

0,70 e 1,30; e a cada 2 metros para 15 árvores, e a cada 2,60 metros para as outras 15 árvores até o início da copa; a partir do início da copa o comprimento da seção foi reduzido para 1 metro. Essa diferenciação entre comprimentos de seção para cada metade da amostra (2,0 e 2,6 m) ocorreu devido determinação da empresa para que as árvores com 2,6 m de seção após 1,3 m do solo pudessem ser aproveitadas comercialmente.

As fatias foram cortadas com aproximadamente 7 cm de espessura e secas em estufa nas dependências da empresa Araupel S/A, utilizando o programa de secagem para tábuas de araucária, que consiste em 6 a 7 dias com temperatura média de 80°C. Após a secagem, as fatias foram lixadas na face superior para facilitar a visualização dos anéis de crescimento.

Após o corte, secagem e lixamento das fatias, procedeu-se com a marcação dos anéis; para tanto, em cada fatia foi identificado o maior raio em relação à medula, o qual foi prolongado em linha reta sob a medula e posteriormente traçado outros dois raios perpendiculares a este. A partir da determinação dos raios foram feitas demarcações com lápis para evidenciar o término de cada anel de crescimento e facilitar a visualização no momento da leitura.

Após a marcação, a medição dos anéis foi realizada com o auxílio do equipamento LINTAB 6.0 (*Frank Rinn Distributors*, Alemanha), disponível no Laboratório BIOFIX da Universidade Federal do Paraná. A medição dos anéis iniciou-se da medula para a casca, posicionando o zero da escala com o ponto de intersecção das retas traçadas para os raios, ponto o qual coincide com o centro da medula, continuando a medição pelos anéis até o fim do último anel. A casca de cada raio de cada fatia foi mensurada posteriormente com o auxílio de régua milimetrada. O equipamento LINTAB 6.0 utiliza o programa TSAP (*Time Series Analysis Program*), desenvolvido por Frank Rinn e Siegwald Jaekel, em Heidelberg na Alemanha, oferecendo precisão na casa do centésimo do milímetro (KOHLER, 2013).

Os dados salvos no formato “.txt” pelo programa TSAP foram exportados para planilha eletrônica (Microsoft Excel), na qual foi calculado o diâmetro médio (d), a área transversal (g), o volume (v) de cada seção e traçados os perfis das árvores reconstituindo as idades anteriores ao corte a fim de detectar possíveis erros de medição. As alturas estimadas para cada árvore em cada idade foram calculadas

por semelhança de triângulos. O volume cubado foi calculado de acordo com a fórmula de Smalian.

4.4 CUBAGEM RIGOROSA DE ÁRVORES EM PÉ

Foi realizada a cubagem em pé de quinze árvores com 43 anos, com o auxílio do dendrômetro digital Criterion RD1000. Essas árvores foram cubadas para complementação dos dados da primeira amostra por possuírem idades mais avançadas que 24 anos. Nessas árvores a altura e o diâmetro a 1,30 metros do solo foram mensurados com o auxílio de fita métrica e trena; nesse ponto foi realizada uma marcação com giz servindo como referência para realizar as medições com o dendrômetro. O dendrômetro foi apoiado em tripé nivelado às condições do terreno e posicionado a uma distância conhecida medida com trena, correspondente a aproximadamente a altura total da árvore, sendo que nessa posição era possível visualizar o topo da copa da árvore a ser mensurada, e então medido os diâmetros nas alturas de 0,1; 0,7; 1,3 m e a cada 2 metros até o final do fuste.

4.5 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

Como a ANATRO possibilita a mensuração dos diâmetros com casca apenas para a idade de corte da árvore é necessário recuperar os diâmetros com casca (d_{cc}) ao longo do tronco para as idades anteriores. A obtenção da estimativa desta variável se faz necessária pois a comercialização do sortimento da matéria prima florestal é realizada utilizando-se diâmetros com casca. Deste modo, foram ajustados os quatro modelos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR OS DIÂMETROS COM CASCA AO LONGO DO TRONCO (d_{cc}) PARA TODAS AS IDADES

continua

AUTOR	MODELO
Laar	$d_{cc} = b_0 + b_1 d_{sc} + b_2 I + b_3 d_{sc} I + \varepsilon_i$
Laar (modificado)	$d_{cc} = b_0 + b_1 d_{sc} + b_2 I + b_3 d_{sc} I + b_4 h_i + \varepsilon_i$

TABELA 1 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR OS DIÂMETROS COM CASCA AO LONGO DO TRONCO (d_{cc}) PARA TODAS AS IDADES

		conclusão
AUTOR	MODELO	
Schneider e Silva	$\ln d_{cc} = b_0 + b_1 \ln d_{sc} + b_2 \ln(ht I) + \varepsilon_i$	
Schneider e Silva (modificado)	$\ln d_{cc} = b_0 + b_1 \ln d_{sc} + b_2 \ln(h_i I) + \varepsilon_i$	

em que: d_{cc} = diâmetro com casca (cm) na altura h_i (m); d_{sc} = diâmetro sem casca (cm) medido na altura h_i (m); ht = altura total (m); I = idade (anos); h_i = altura (m) onde se encontra o diâmetro d_i (cm); \ln = logaritmo neperiano; b_i = coeficientes a serem estimados; ε_i = erros aleatórios.

FONTE: MODIFICADO DE FIGUEIREDO FILHO et al. (2015).

Para aumentar a variabilidade de idades para o ajuste destes modelos, foi incorporada à base de dados inicial informações de 38 árvores cubadas de *A. angustifolia* com idades de 25 a 30 anos oriundas da FLONA de Três Barras, Santa Catarina.

A avaliação e seleção do modelo de melhor desempenho foram realizadas de acordo com as estatísticas descritas no item 4.7.

4.6 AJUSTE DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Quatro modelos de afilamento foram ajustados para obtenção dos diâmetros às várias alturas do fuste e nas diversas classes de idades (Tabela 2). As variáveis utilizadas para os ajustes dos modelos foram aquelas obtidas a partir da ANATRO.

Tabela 2 - FUNÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA *Araucaria angustifolia* EM VÁRIAS IDADES DO MUNICÍPIO DE QUEDAS DO IGUAÇU - PARANÁ

DENOMINAÇÃO	AUTOR	MODELO
-	Kozak modificado	$\left(\frac{d_i}{dap}\right)^2 = b_1 \left(\left(\frac{h_i}{ht}\right) - 1\right) + b_2 \left(\left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 - 1\right)$
Polinômio de 5º Grau	Schöepfer (1966)	$\left(\frac{d_i}{dap}\right)^2 = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right) + b_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^3 + b_4 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^4 + b_5 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^5 + \varepsilon_i$
Polinômio de Potências Fracionárias	Hradetzky (1976)	$\frac{d_i}{dap} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p_1} + b_2 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p_2} + b_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p_3} + \dots + b_n \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{p_n}$
-	Garay (1979)	$\frac{d_i}{dap} = b_1 + \left(1 + b_2 \ln\left(1 - b_3 \left(\frac{h_i}{ht}\right)^{b_4}\right)\right)$

em que: d_i : diâmetro da seção i (cm); dap : diâmetro à altura do peito (1,30 metros do solo) (cm); h_i : altura da seção i ; ht : altura total (m); b_i = coeficientes a serem estimados; $p_1, p_2, p_3 \dots p_n$: potências a serem selecionadas para compor o polinômio de potências fracionárias; \ln : logaritmo neperiano.

FONTE: A AUTORA (2016).

O Polinômio de potências fracionárias, também denominado de Polinômio de potências inteiras e fracionárias, descrito por Hradetzky (1976), faz o uso de um conjunto de potências inteiras e fracionárias para melhor representar o afilamento da árvore nos extremos. Esse autor sugere que a seleção das potências seja feita por meio do procedimento *Stepwise*, sendo que as potências inteiras da ordem das dezenas representam a base da árvore, e as fracionárias a porção superior do fuste. Neste caso, as potências testadas foram: 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20 e 25.

Os ajustes das funções de afilamento foram realizados com o auxílio de planilha eletrônica Excel® versão 2013 e dos suplementos Solver para ajuste de modelo não linear; e do Action para a realização do procedimento *Stepwise* (Exemplo de seleção de modelos por *Stepwise* em ANEXO 1). O Action é um sistema estatístico desenvolvido pela Estatcamp que utiliza o programa estatístico R, que é a principal linguagem de programação estatística de uso mundial. Através de um sistema próprio, esse suplemento conecta o R com o Excel conferindo flexibilidade, agilidade e confiança nas aplicações estatísticas com a interface fácil e conhecida do Excel (ESTATCAMP, 2014).

Inicialmente foram ajustadas as equações para o conjunto total dos dados referentes às idades selecionadas previamente, a seleção das classes de idade foi baseada em intervalos iguais de tempo para os dados provenientes da ANATRO (Tabela 3), e após a seleção da equação de melhor desempenho, a mesma foi ajustada novamente para os dados estratificados por idade.

TABELA 3 - CLASSES DE IDADE E NÚMERO DE INDIVÍDUOS EM CADA CLASSE UTILIZADOS PARA O AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO

CLASSE	IDADE (ANOS)	Nº DE INDIVÍDUOS	Nº DE OBSERVAÇÕES (hi/di)
1	06	30	210
2	12	30	328
3	18	30	417
4	24	30	452
5	43	15	211
Total	-	135	1618

FONTE: A AUTORA (2016).

4.7 SELEÇÃO DAS EQUAÇÕES DE MELHOR DESEMPENHO

A seleção tanto da equação para estimativa de diâmetro com casca (d_{cc}) quanto da função de afilamento de melhor desempenho foi realizada baseada nas estatísticas de Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj}) (1), Erro padrão da Estimativa em Porcentagem (S_{yx} %) (2) e a Análise Gráfica dos Resíduos.

$$R^2_{aj} = 1 - \left[(1 - R^2) \frac{n-1}{n-p-1} \right] \quad (1)$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} * 100 \quad (2)$$

onde:

R^2 = coeficiente de determinação;

n = número de observações;

p = número de coeficientes;

S_{yx} = erro padrão da estimativa;

\bar{y} = média dos valores observados.

Estas estatísticas são amplamente utilizadas no meio florestal para a seleção de equações. É importante ressaltar que tanto o R^2_{aj} quanto o $S_{yx}\%$ foram primeiramente calculadas para a variável dependente estimada de cada modelo e posteriormente foram recalculadas para a variável de interesse em cada equação.

4.8 EVOLUÇÃO DA FORMA DO TRONCO

4.8.1 Função de Afilamento

A evolução da forma dos troncos foi avaliada a partir dos gráficos relacionando diâmetro relativo (d_i/d_{ap}) versus altura relativa (h_i/h_t) construídos com a função de afilamento selecionada em cada classe de idade. Além desta análise visual, foi realizada uma análise estatística buscando detectar diferenças significativas entre as curvas em cada classe de idade. Para tanto, foi empregado o teste de identidade de modelos proposto por Graybill (1976).

4.8.1.1 Teste de Identidade de Modelos

O teste de identidade de modelos, proposto por Graybill (1976) e demonstrado por Regazzi (1993), busca verificar a necessidade ou não de se fazer esta estratificação. Para esse teste o modelo ajustado com os dados estratificados por classe de idade é chamado de modelo completo e o modelo reduzido, sem estratificação dos dados. Esse teste é baseado na diferença entre a soma de quadrado dos resíduos do ajuste do modelo completo e a soma de quadrado dos resíduos do ajuste do modelo reduzido, como pode ser observado na Tabela 4.

TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) PARA O TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
RegComp	$\sum GL_{RegComp}$ (1)	$\sum SQ_{RegComp}$ (5)		
RegRed	GL_{RegRed} (2)	SQ_{RegRed} (6)		
Redução (H_0)	$(3) = (1) - (2)$	$(7) = (5) - (6)$	SQ_{Red}/GL	$\frac{QM_{Red}}{QM_{Res}}$
Resíduo	$(4) = (3) - (1)$	$(8) = (4) - (5)$	SQ_{Res}/GL	
Total	$\sum GL_{TotComp}$ (3)	$\sum SQ_{TotComp}$ (4)		

Em que: GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F calculado; RegComp: regressão ajustada por idade (modelo completo); RegRed: regressão ajustada sem estratificação dos dados (modelo reduzido).

FONTE: ADAPTADO DE REGAZZI (1993).

De acordo com Graybill (1976), para verificar a igualdade de um conjunto de equações de regressão, a hipótese de nulidade testada é a seguinte:

- **H_0 :** o modelo reduzido ajustado para o conjunto total dos dados das cinco classes de idade é idêntico aos modelos completos ajustados para cada uma das classes pertencentes;
- **H_1 :** Rejeita-se H_0 .

Desta forma, adotando-se 5% de probabilidade de erro para o teste, a não rejeição da Hipótese nula (H_0) permite afirmar que as “n” equações não têm diferença estatisticamente significativa, podendo ser interpretada neste caso, da seguinte maneira: como as “n” equações não diferem estatisticamente entre si, a equação reduzida pode ser utilizada para representar o conjunto total dos dados não sendo necessária a estratificação por idades.

Caso a hipótese de nulidade não seja aceita, ou seja, existindo a necessidade de estratificação dos dados, a análise será realizada confrontando-se

todas as possibilidades de combinação das classes de idade para identificar possível redução de número de modelos utilizados.

4.8.2 Fator de Forma

Para avaliar a evolução do fator de forma ao longo do tempo, foram calculados os fatores de forma artificial e o natural de cada árvore nas classes de idades estudadas (6, 12, 18, 24 e 43 anos) e realizada a média.

Para os dados de diâmetro com casca referente às idades anteriores à idade do corte das árvores (24 anos) utilizadas na ANATRO, foram utilizados aqueles estimados conforme item 3.4, já que para o cálculo dos fatores de forma, tanto natural quanto artificial, usualmente são utilizados diâmetros com casca.

O fator de forma natural ($f_{0,1}$) foi calculado tendo como base o diâmetro a 10% da altura total de cada árvore (3). Para tanto, os mesmos foram calculados através de interpolação das áreas transversais obtidas na ANATRO. Desta forma, primeiramente foram calculadas as áreas transversais a 10% da altura total e posteriormente calculado o diâmetro.

$$f_{0,1} = \frac{Vol_{\text{árv}}}{Vol_{\text{cil}}} \quad (3)$$

onde:

$f_{0,1}$ = fator de forma natural;

$Vol_{\text{árv}}$ = volume total da árvore (m³) calculado pela fórmula de Smalian;

Vol_{cil} = volume do cilindro com área transversal referente ao diâmetro a 10% da altura total da árvore.

O fator de forma artificial foi calculado utilizando o dap como referência para o cálculo do volume do cilindro (4):

$$f_{1,3} = \frac{Vol_{\text{árv}}}{Vol_{\text{cil}}} \quad (4)$$

onde:

$f_{1,3}$ = fator de forma artificial;

$Vol_{\text{árv}}$ = volume total da árvore (m³) calculado pela fórmula de Smalian;

Vol_{cil} = volume do cilindro com o dap como diâmetro de referência.

Para visualização e análise da evolução dos fatores de forma, natural e artificial, os mesmos foram plotados contra a idade.

4.9 SORTIMENTO

Para estimar os volumes dos sortimentos nas diferentes classes de idades das árvores foi utilizado o módulo de inventário florestal do programa FlorExel®. Este módulo estima os volumes totais e por sortimentos das árvores amostradas utilizando a função de afilamento ajustada para cada classe de idade.

Kohler (2013), trabalhando com sortimento de *Pinus taeda* utilizou este módulo do FlorExel®, e afirma que o programa fornece os volumes totais e por sortimentos para o número total de árvores. Para tanto, é necessário fornecer ao programa dados relativos ao dap e a altura total das árvores e as especificações dos sortimentos desejados.

As classes de sortimento são definidas com base em diâmetros (com casca) na ponta fina, e no comprimento das toras. Na Tabela 5, apresentam-se as classes de sortimento utilizadas para o presente trabalho.

TABELA 5 - CLASSES DE SORTIMENTO UTILIZADAS

DESTINAÇÃO	DIÂMETRO NA PONTA FINA (cm)	COMPRIMENTO DA TORA (m)
Energia	5	2,4
Celulose	8	2,4
Serraria 1	16	3,1
Serraria 2	23	3,1
Laminação	35	3,1

FONTE: FIGUEIREDO FILHO et al. (2015).

Figueiredo Filho et al. (2015) afirmaram que o sortimento detalhado na Tabela 5 é o utilizado atualmente pelas indústrias que operam com matéria-prima de plantios florestais. Esses mesmos autores a utilizaram em estudos com *A. angustifolia* provenientes da região centro-sul do Paraná. Kohler (2013) também utilizou o mesmo sortimento para o estudo da evolução do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina, essa autora demonstrou as principais janelas e o passo a passo da utilização do programa FlorExel®.

Para avaliar a evolução do sortimento, cada idade foi considerada como sendo um talhão com apenas uma parcela, pois o programa FlorExel® necessita

deste tipo de informação. Além disto, foram inseridos no programa os coeficientes da função de afilamento; as potências, se função ajustada necessitasse; as dimensões dos sortimentos utilizados e a altura de toco (10 cm) deixado na cubagem das árvores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS DADOS

As estatísticas descritivas das variáveis dendrométricas da amostra utilizada na pesquisa estão na Tabela 6.

TABELA 6 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DO CONJUNTO DE DADOS

IDADE (ANOS)	VARIÁVEL	MÍNIMO	MÉDIA	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	CV (%)
6	dap _{cc} (cm)	2,34	10,78	15,94	3,66	33,98
	dap _{sc} (cm)	1,80	9,04	13,60	3,19	35,33
	ht (m)	3,30	8,36	13,38	2,22	26,54
	vol _{sc} (m³)	0,000935	0,033132	0,087272	0,022281	67,25
	vol _{cc} (m³)	0,001562	0,047069	0,120905	0,030627	65,07
12	dap _{cc} (cm)	13,16	20,62	28,65	4,29	21,04
	dap _{sc} (cm)	11,20	18,06	25,40	3,93	21,78
	ht (m)	11,08	15,22	18,30	1,91	12,58
	vol _{sc} (m³)	0,043750	0,224751	0,458788	0,115041	51,19
	vol _{cc} (m³)	0,061394	0,293143	0,583795	0,143986	49,12
18	dap _{cc} (cm)	17,63	26,46	39,46	5,64	21,31
	dap _{sc} (cm)	15,30	23,49	35,75	5,28	22,47
	ht (m)	15,23	18,11	21,70	1,87	10,30
	vol _{sc} (m³)	0,165418	0,477636	1,087848	0,242126	50,69
	vol _{cc} (m³)	0,219081	0,599710	1,319347	0,289636	48,30
24	dap _{cc} (cm)	19,54	30,66	47,92	7,31	23,84
	dap _{sc} (cm)	17,10	27,53	44,00	6,92	25,14
	ht (m)	15,90	19,57	23,30	0,42	2,14
	vol _{sc} (m³)	0,233412	0,733899	1,935775	0,417901	56,94
	vol _{cc} (m³)	0,302766	0,898115	2,276199	0,486675	54,19
43	dap _{cc} (cm)	32,60	45,67	64,50	10,66	23,33
	ht (m)	17,20	22,09	26,60	2,60	11,76
	vol _{cc} (m³)	0,896866	2,030130	4,053644	0,996201	49,07

Em que dap_{cc}: diâmetro com casca (cm); dap_{sc}: diâmetro sem casca (cm); ht: altura total (m); vol_{sc}: volume sem casca (m³); vol_{cc}: volume com casca (m³); CV: coeficiente de variação (%).

FONTE: A AUTORA (2016).

As variáveis dendrométricas reconstituídas das idades anteriores ao corte das árvores amostradas para a ANATRO, neste caso 6, 12 e 18 anos, não apresentam informações sobre espessura de casca, então a variável diâmetro com casca (dap_{cc}) foi calculada a partir do ajuste de modelos conforme item 5.2, tornando possível dessa forma, a obtenção do volume com casca (vol_{cc}) para as árvores amostradas nessas idades, possibilitando as comparações com as demais idades, 24 e 43 anos.

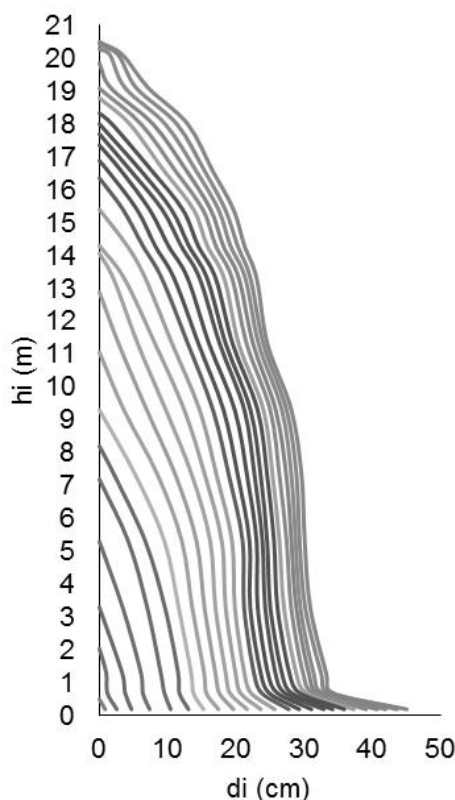
A maior variabilidade dos dados foi observada para o volume sem casca (m^3), onde o coeficiente de variação resultou em valores superiores a 50%, seguido pelo volume com casca (m^3), diâmetro e pela altura total das árvores.

É possível notar que os coeficientes de variação para as variáveis diâmetro com e sem casca são muito semelhantes, visto que o dap_{cc} foi estimado a partir de equações que tinham como variável independente o dap_{sc} . Por essa mesma razão, os volumes com e sem casca apresentam variações muito parecidas.

Observa-se que todas as variáveis dendrométricas estudadas apresentam a maior taxa de aumento dos seis a doze anos, e posteriormente nas idades subsequentes continuam aumentando, porém de forma desacelerada evidenciando a forma da curva de crescimento para todas as variáveis, a qual nos primeiros anos apresenta crescimento acelerado, seguida de leve estagnação, e posteriormente tendendo a diminuir sutilmente as taxas de crescimento.

Para verificar possíveis erros de medição, foram traçados os perfis das árvores reconstituindo as idades anteriores ao corte para os dados provenientes da ANATRO. A Figura 3 é um exemplo do perfil de uma árvore do banco de dados.

FIGURA 3 - PERFIL DO FUSTE PARA AS IDADES DE 1 A 24 ANOS DA ÁRVORE 1



FONTE: A AUTORA (2016).

5.2 ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA

Os coeficientes e as estatísticas de desempenho para cada equação ajustada para estimar o diâmetro com casca (d_{cc}) estão dispostos na Tabela 7.

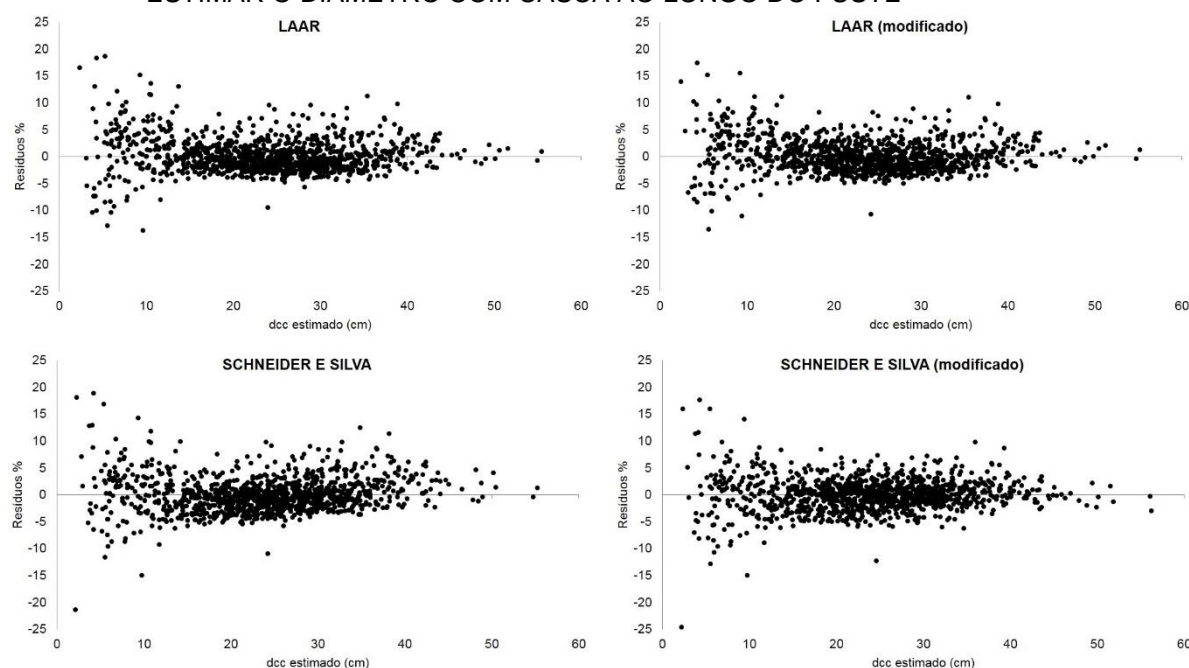
TABELA 7 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS COM CASCA NAS DIFERENTES ALTURAS E POR IDADE

MODELO	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	$S_{yx}\%$	R^2_{aj}
Laar	1,90944	0,94002	-0,0575	0,00568	-	2,89	0,9945
Laar (modificado)	1,75890	0,95454	-0,0208	0,00429	-0,0396	2,83	0,9948
Schneider e Silva	0,25804	0,96627	-0,0073	-	-	3,19	0,9933
Schneider e Silva (modificado)	0,31185	0,94946	-0,0102	-	-	2,66	0,9953

FONTE: A AUTORA (2016).

É possível observar nessa tabela que o modelo de melhor desempenho foi o de Schneider e Silva (modificado), com o menor erro padrão da estimativa (2,66 %) e maior coeficiente de determinação ajustado (0,995) entre os modelos comparados, além de apresentar a melhor distribuição gráfica dos resíduos (Figura 4).

FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA DOS RESÍDUOS PARA AS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA ESTIMAR O DIÂMETRO COM CASCA AO LONGO DO FUSTE



FONTE: A AUTORA (2016).

A dispersão gráfica dos resíduos demonstra uma leve dispersão em forma de leque nos menores diâmetros. Esses diâmetros apresentam maiores variações por estarem localizados nas porções da ponta do fuste e/ou pertencer às árvores mais jovens.

Figueiredo Filho et al. (2014) fizeram uso da equação Schneider e Silva para estimativa dos diâmetros com casca para *A. angustifolia* provenientes de plantios da Floresta Nacional de Irati, no Estado do Paraná, encontrando valores para as estatísticas de ajuste inferiores ($R^2_{aj} = 0,833$ e $S_{yx} = 20,2\%$) se comparados com a mesma equação para a presente pesquisa, que neste caso foram $R^2_{aj} = 0,993$ e $S_{yx} = 3,19\%$.

Observando os modelos ajustados, nota-se que a modificação feita no modelo de Schneider e Silva é a inclusão da variável altura da seção em que o diâmetro *i* foi mensurado (h_i); esta alteração proporcionou considerável melhoria na acurácia da estimativa; passando de 3,19% de erro padrão da estimativa para 2,66%.

Figueiredo Filho et al. (2015) ajustaram as mesmas quatro equações utilizadas neste trabalho para estimar o diâmetro com casca de plantios de *A. angustifolia* em Laranjeiras do Sul – Paraná, obtendo as melhores estatísticas de ajuste para o modelo de Schneider e Silva (modificado), corroborando com os resultados alcançados nesta pesquisa.

5.3 AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO

5.3.1 Ajuste para o conjunto total dos dados

Na Tabela 8, observam-se os coeficientes estimados de cada função de afilamento e as respectivas estatísticas de ajuste e seleção.

TABELA 8 - COEFICIENTES ESTIMADOS E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE PARA AS FUNÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADA PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS

MODELO	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	$S_{yx}\%$	R^2_{aj}
Kozak modificado	-	-1,6567	0,3781	-	-	-	11,30	0,9718
Schöepfer (1966)	1,17475	-2,8091	12,3266	-28,998	30,6382	12,332	9,40	0,9805
Hradetzky(1976)	1,1852	0,11212	-0,58071	0,85246	0,47924	0,3418	9,33	0,9808
Garay (1979)		0,1954	0,30167	0,98109	0,34105		9,60	0,9793

FONTE: A AUTORA (2016).

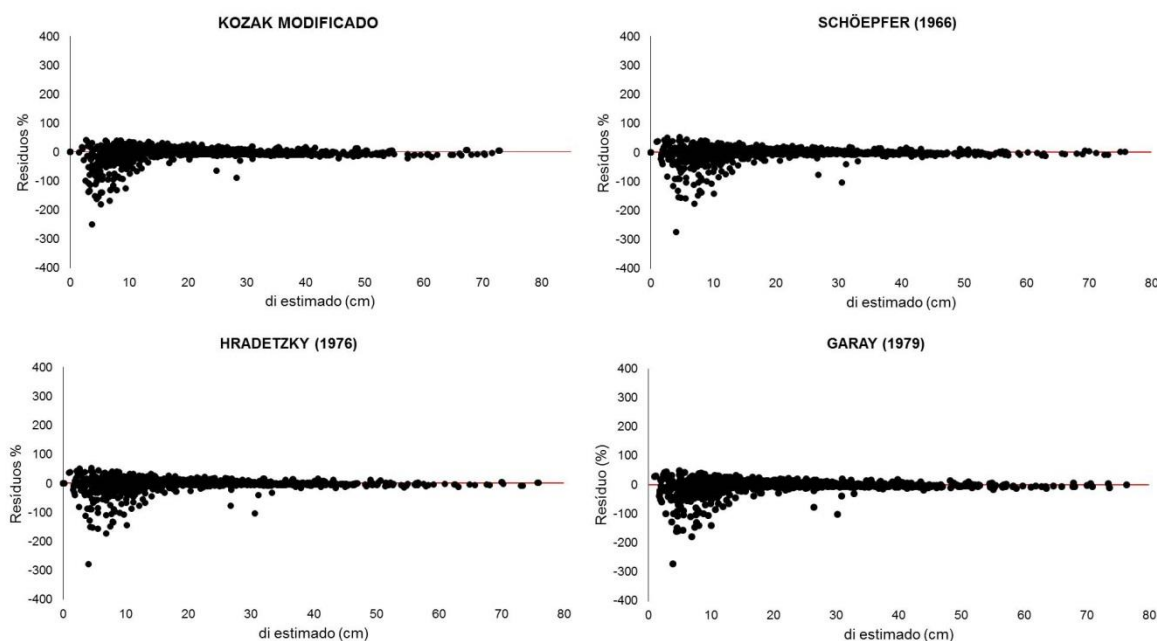
O polinômio de Hradetzky (1976) teve suas potências selecionadas pelo método *Stepwise*, resultando num total de cinco potências inteiras e fracionárias, quais sejam: 0,005; 0,3; 3; 4 e 10; gerando a equação 5:

$$\frac{di}{dap} = b_0 + b_1 \left(\frac{hi}{ht}\right)^{0,005} + b_2 \left(\frac{hi}{ht}\right)^{0,3} + b_3 \left(\frac{hi}{ht}\right)^3 + b_4 \left(\frac{hi}{ht}\right)^4 + b_5 \left(\frac{hi}{ht}\right)^{10} \quad (5)$$

Todas as funções de afilamento ajustadas para o conjunto de dados total obtiveram resultados satisfatórios, com R^2_{aj} superiores a 0,97 (Tabela 8). O erro padrão da estimativa em porcentagem também proporcionou resultados satisfatórios para todas as funções ajustadas, apresentando resultados inferiores a 10 % para a maioria das funções, exceto para a função de Kozak modificado que apresentou S_{yx} de 11,3 %.

Analisando a dispersão gráfica dos resíduos (Figura 5), é possível observar que para todos os modelos, os maiores resíduos se encontram nas estimativas da porção superior do fuste, ou seja, nos diâmetros menores presentes na ponta do tronco ou nas árvores mais jovens, onde as variações de diâmetro ocorrem de forma mais expressiva.

FIGURA 5 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO AJUSTADAS PARA A VARIÁVEL d_i PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS



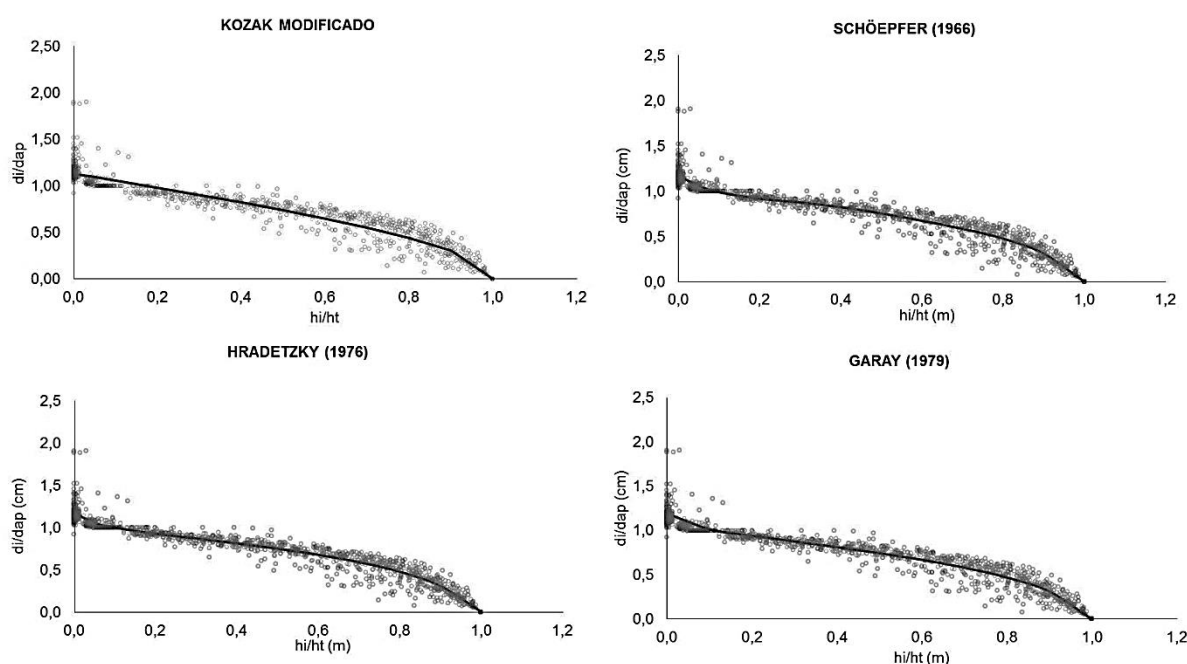
FONTE: A AUTORA (2016).

Queiroz (2006) avaliou as funções de afilamento: polinômio de quinto grau, polinômio de potências fracionárias e o modelo de Kozak et al. (1969) para *Mimosa scabrella* na região metropolitana de Curitiba-PR, e em seus resultados além de constatar algumas tendenciosidades ao longo da linha de estimativa para todas as equações, também averiguou que os maiores erros ocorreram principalmente na porção superior do fuste, onde a variação dos diâmetros no processo de cubagem foram muito bruscas.

Assim como para as demais estatísticas de ajuste, para a dispersão dos resíduos, o polinômio de Hradetzky, o polinômio de Schöepfer e o modelo de Garay proporcionaram resultados muito semelhantes.

A linha média de ajuste de cada função de afilamento ajustada para o conjunto total de dados pode ser observada na Figura 6, onde é possível verificar que a função de Kozak modificada apresentou ajuste moderadamente satisfatório, pois a linha média, apesar de acompanhar as convergências da nuvem de pontos, demonstrou-se pouco flexível para as estimativas da base e na ponta do fuste. As demais funções ajustaram-se muito bem, acompanhando de forma satisfatória as tendências da nuvem de pontos referentes aos dados observados.

FIGURA 6 - LINHA MÉDIA DE AJUSTE DAS FUNÇÕES DE AFILAMENTO EM RELAÇÃO AOS DADOS OBSERVADOS



FONTE: A AUTORA (2016).

De acordo com as estatísticas utilizadas, as equações ajustadas proporcionaram resultados muito semelhantes entre si, com ligeira desvantagem da função de Kozak modificado, indicando que qualquer uma das três funções restantes poderia ser utilizada para o conjunto total de dados sem que houvesse prejuízo na acurácia das estimativas. Porém, dentre as funções que se destacaram, o polinômio de Schöepfer foi selecionado por ser um modelo mais simples e proporcionar mais facilidade no ajuste se comparado ao polinômio de Hradetzky e a função de Garay.

Figueiredo Filho et al. (2015) avaliando o efeito da idade no afilamento do fuste de plantios de *A. angustifolia* com 30 anos de idade, utilizaram o polinômio de Schöepfer para descrever o perfil do tronco para o conjunto total dos dados e obtiveram resultados satisfatórios da função, com R^2_{aj} 0,96 e S_{yx} 8,85%, resultados semelhantes aos alcançados na presente pesquisa.

Curto et al. (2014) caracterizando a estrutura e o desenvolvimento de modelos para quantificação do potencial madeireiro em povoamento não manejado de *A. angustifolia*, obtiveram os melhores resultados para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste com o polinômio de Hradetzky, porém quando utilizaram as funções de afilamento para estimar o volume total do fuste e por seções do mesmo, o polinômio de Schöepfer foi superior, com R^2_{aj} 0,9939 e 0,9950; e S_{yx} 8,21 e 8,84 % respectivamente, para o conjunto total de dados.

Diversos autores confirmaram a superioridade dos polinômios de Hradetzky e de Schöepfer na avaliação do afilamento também para algumas espécies do gênero *Pinus* no Brasil (DAVID, 2014; ARAÚJO et al., 2012; YOSHITANI JUNIOR et al., 2012).

Loureiro et al. (2012) avaliando equações de afilamento não lineares para um plantio de *A. angustifolia* com 39 anos de idade no município de Rio Negro, Estado do Paraná, concluíram que a equação de Garay foi a que melhor estimou os diâmetros ao longo do fuste (R^2_{aj} 0,9896 e S_{yx} 6,93 %), confirmando o bom desempenho da equação para a espécie.

5.3.2 Ajuste por classes de idade

Selecionada a função de afilamento para o conjunto total de dados (item 5.3.1), o mesmo modelo, o Polinômio de quinto grau de Schöepfer, foi ajustado novamente para cada classe de idade separadamente (Tabela 9).

TABELA 9 - VALORES DOS COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE SELEÇÃO PARA O POLINÔMIO DE QUINTO GRAU AJUSTADO PARA CLASSES DE IDADE

IDADE	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	$S_{yx}\%$	R^2_{aj}
6	1,23993	-2,52022	10,19359	-25,92100	27,63161	-10,62104	14,04	0,9482
12	1,16007	-2,55248	10,70181	-23,68514	22,37071	-7,99610	8,22	0,9804
18	1,16898	-3,22173	15,54419	-36,78000	38,32170	-15,03170	7,15	0,9842
24	1,16965	-3,23819	15,20550	-35,39766	37,37968	-15,12397	6,80	0,9843
43	1,13958	-2,70093	11,27823	-25,69735	27,20392	-11,21704	7,80	0,9739
GERAL	1,17475	-2,80912	12,32661	-28,99800	30,63820	-12,33200	9,40	0,9805

FONTE: A AUTORA (2016).

De acordo com a Tabela 9, é possível detectar a melhoria na homogeneidade da forma do fuste com o avanço da idade, pois o erro padrão da estimativa em porcentagem diminui e o coeficiente de determinação ajustado aumentou para os dados provenientes do mesmo plantio, ou seja, para as idades de 6 a 24 anos, sugerindo que a estratificação por idade resulta em melhoria na acuracidade das estimativas. O polinômio de Schöepfer apresentou ajuste um tanto inferior apenas para a classe de idade de 6 anos com erro padrão da estimativa superior a 14% e com o menor coeficiente de determinação ajustado entre as classes de idade (0,9482) devido a maior irregularidade no crescimento em diâmetro em decorrência da falta de competição.

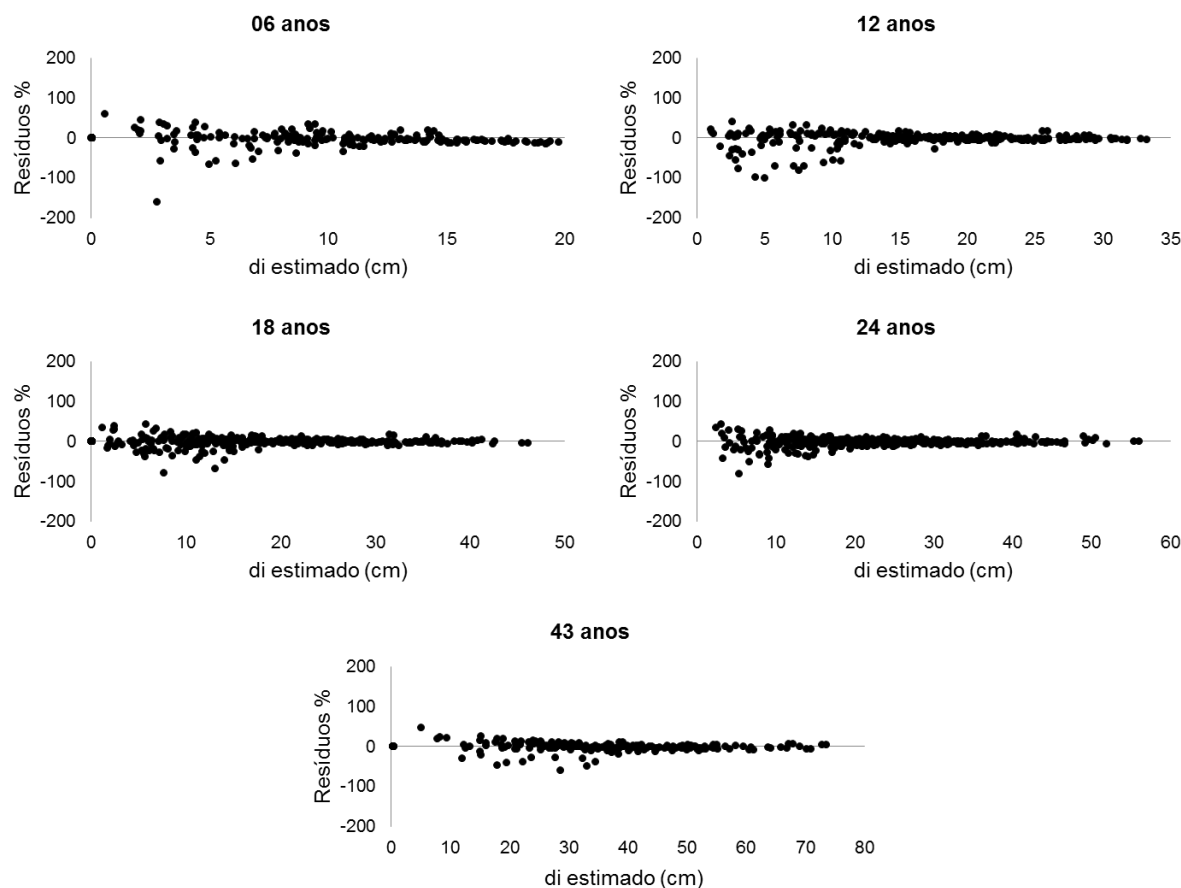
Figueiredo Filho et al. (2014) utilizaram o polinômio de Schöepfer para avaliar a evolução do afilamento de *A. angustifolia* no município de Laranjeiras do Sul, Estado do Paraná, e obteve bons resultados dessa função nas diversas classes de idade, alcançando resultados satisfatórios para a maioria das classes, com ajustes superiores a 0,92 (R^2_{aj}) e erros (S_{yx}) inferiores a 17% para idades superiores a 15 anos. Esses autores também obtiveram piores resultados do ajuste do polinômio para a classe mais jovem (10 anos), e afirmaram que isto ocorre em razão da maior dispersão dos valores observados utilizados para o ajuste nessa idade.

Friedl (1989) estudando a dinâmica do afilamento do fuste de *A. angustifolia*, observou que o ajuste apresentou ligeira tendência de melhoria na precisão da estimativa com avanço da idade. Esse autor relacionou essa tendência com o aumento da altura e com a melhora da forma com o avanço da idade.

A Figura 7 mostra a dispersão gráfica dos resíduos para as classes de idade. Com o decorrer do tempo, percebe-se uma melhoria na dispersão dos resíduos, porém os maiores erros ainda permanecem nos diâmetros menores, evidenciando a tendência de superestimação da equação para os diâmetros mais

próximos ao topo da árvore ou para árvores mais jovens. Kohler (2013), estudando a evolução do afilamento de *Pinus taeda* no Paraná e em Santa Catarina, também constatou que os resíduos tornavam-se mais homogêneos com o avanço das classes de idade para os dois grupos de dados amostrados (PR e SC).

FIGURA 7 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS PARA O AJUSTE DO POLINÔMIO DE QUINTO GRAU PARA AS CLASSES DE IDADE

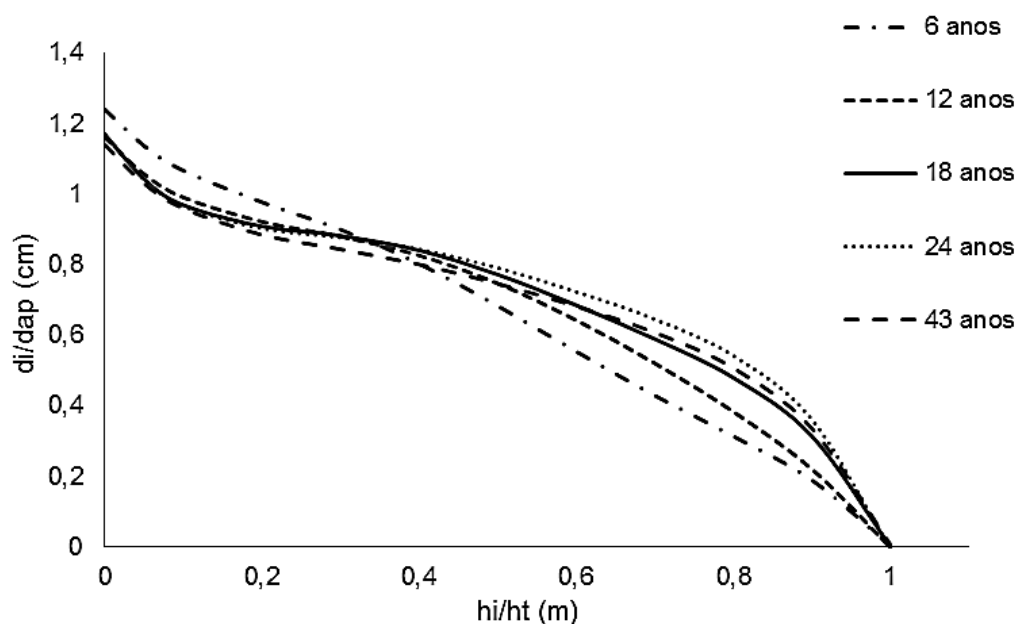


FONTE: A AUTORA (2016).

5.4 EVOLUÇÃO DAS CURVAS DE AFILAMENTO

O perfil do fuste das árvores de *A. angustifolia* por classes de idades e para o conjunto geral dos dados está representado na Figura 8. Observa-se que nas primeiras classes as curvas são mais afiladas, melhorando o afilamento com o aumento da idade, indicando uma melhor distribuição do crescimento ao longo do tronco no decorrer do tempo.

FIGURA 8 - EVOLUÇÃO DA FORMA DO FUSTE DE *Araucaria angustifolia* DE PLANTIOS ORIUNDOS DA REGIÃO CENTRO-SUL DO PARANÁ



FONTE: A AUTORA (2016).

Na primeira classe de idade (6 anos) a curva do perfil, de maneira geral, apresenta forma geométrica semelhante a um cone com ligeira tendência à neilóide na porção até aproximadamente 30 % (0,3) do fuste, ou seja, na base do mesmo. A forma de neilóide da base torna-se cada vez mais acentuada no decorrer do tempo. Ainda sobre a classe de seis anos de idade, nota-se que a partir do ponto correspondente a aproximadamente 30% da altura total o perfil torna-se côncavo ao eixo longitudinal.

A classe de idade de 12 anos apresenta comportamento intermediário às classes inferiores e superiores a ela, com o traçado da base acompanhando as classes mais avançadas, e a partir desse ponto apresenta forma cônica, porém a linha torna-se mais suave em relação à classe anterior (6 anos) com tendência a um tipo geométrico parabolóide, como o ocorrido nas classes subsequentes.

É possível observar que a mudança da forma do tronco ocorre de maneira muito rápida nas idades mais jovens (de 6 para 12 anos), enquanto que nas fases mais maduras a forma muda vagarosamente. Esse mesmo comportamento foi observado também por Friedl (1989) para *A. angustifolia*, esse autor ressalta que essa taxa de mudança de afilamento em relação à idade pode ainda variar entre as diferentes classes de copas ou posições sociológicas no mesmo povoamento.

Para as classes de 18 a 43 anos, na base do tronco as curvas são convexas ao eixo longitudinal, assemelhando-se a um sólido geométrico do tipo neilóide; a partir desse ponto, para essas classes de idade correspondente a aproximadamente 20 % da altura total, até a base da copa compreendendo a seção mediana do fuste, o traçado torna-se côncavo em relação ao eixo, assumindo a forma de um sólido geométrico do tipo parabolóide até a altura total. Segundo Assmann e Davis (1970), este comportamento do traçado na parte mediana até a terminal é normal em coníferas, enquanto que nas folhosas, uma parte dessa seção seria parabolóide e a parte terminal até a base da copa seria descrita por um tronco de cone.

O maior afilamento do tronco observado em árvores mais jovens pode ser explicado devido a influencia do comportamento do comprimento da copa em relação à idade, pois, árvores jovens apresentam geralmente copas compridas acarretando em forte afilamento do fuste. Outro fator que influencia no afilamento do tronco das árvores é a competição, pois, conforme Larson (1963), com o crescimento do povoamento e início da competição, há uma desrama natural e consequente diminuição no comprimento de copa, o que, associado a outros fatores, resulta no decréscimo do afilamento do tronco principal como pode ser observado na diminuição do afilamento nas classes de idades subsequentes aos 6 anos, neste caso, aos 12, 18, 24 e 43 anos.

Burger, Machado e Hosokawa (1980) analisaram o desenvolvimento da forma de árvores dominantes de *A. angustifolia*, e para tanto, ajustaram o polinômio de Schöepfer para obter o perfil das curvas de afilamento nas diferentes idades. Esses autores descreveram que aos 6 anos a forma das árvores era parabolóide ao longo de todo o tronco, tornando-se neilóide na parte inferior e cada vez mais parabolóide na porção superior do fuste com o avanço da idade, induzindo os autores a concluir que a forma do fuste melhora com a idade, ou seja, torna-se cada vez mais cilíndrica com o decorrer dos anos.

Além de Burger, Machado e Hosokawa (1980), outros autores averiguaram o efeito altamente significativo da idade na melhoria da forma do fuste de árvores. Para algumas coníferas como *A. angustifolia* constatado por Machado (1982), Friedl (1989), Figueiredo Filho et al. (2014) e Figueiredo Filho et al. (2015); para *Pinus taeda* por Kohler (2013); para *Pinus elliottii* por Téo et al. (2013).

5.4.1 Teste de Identidade de Modelos

Na Tabela 10 está o resultado da análise de variância e do teste F de Graybill para a identidade dos modelos completo e reduzido referentes a todas as cinco classes de idade analisadas (6, 12, 18, 24 e 43 anos). Observa-se que houve diferença significativa entre os modelos, pois o valor de F calculado foi de 8,3439** ($p \leq 0,05$), Sendo, portanto, necessária a estratificação dos dados.

TABELA 10 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F PARA IDENTIDADE DE MODELOS

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F _{cal}	F _{5%}
Mod. Completo	25	214,09			
Mod. Reduzido	5	213,25			
Diferença	20	0,84	0,0419	8,3439	1,5772
Resíduos	1588	7,98	0,0050		
Total	1613	222,1			

GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; F_{cal}: Valor de F calculado; F_{5%}: Valor de F tabelado a 5 % de probabilidade de erro; F_{1%}: Valor de F tabelado a 1 % de probabilidade de erro.

FONTE: A AUTORA (2016).

O mesmo teste foi aplicado a todas as hipóteses possíveis de combinação entre idades a fim de detectar a possibilidade de junção de classes de idade em um único modelo (Tabela 11).

TABELA 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F DE IDENTIDADE DE MODELOS PARA TODAS AS HIPÓTESES POSSÍVEIS DE COMBINAÇÃO DE CLASSES DE IDADE

					continua
HIPÓTESE DE AGRUPAMENTO	CLASSES DE IDADES	Nº DE CLASSES	F _{cal}	F _{5%}	
1	43; 24; 18; 12; 6	5	8,3439	1,5772	*
2	43; 24; 18; 12	4	15,9117	1,6736	*
3	43; 24; 18; 6	4	2,4221	1,6743	*
4	43; 24; 12; 6	4	13,8922	1,6749	*
5	43; 18; 12; 6	4	0,0040	1,6751	ns
6	24; 18; 12; 6	4	11,8422	1,6736	*
7	43; 24; 18	3	7,9577	1,8396	*
8	43; 24; 12	3	28,2170	1,8404	*
9	43; 24; 6	3	9,9406	1,8418	*
10	43; 18; 12	3	1,4278	1,8408	ns
11	43; 18; 6	3	3,1214	1,8422	*
12	43; 12; 6	3	3,5616	1,8436	*
13	24; 18; 12	3	37,3874	1,8387	*
14	24; 18; 6	3	4,7536	1,8396	*

TABELA 11 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA E TESTE F DE IDENTIDADE DE MODELOS PARA TODAS AS HIPÓTESES POSSÍVEIS DE COMBINAÇÃO DE CLASSES DE IDADE

HIPÓTESE DE AGRUPAMENTO	CLASSES DE IDADES	Nº DE CLASSES	F _{cal}	conclusão	
				F _{5%}	
15	24; 12; 6	3	18,5923	1,8404	*
16	18; 12; 6	3	1,9752	1,8408	*
17	43; 6	2	13,2998	2,2361	*
18	43; 12	2	5,9074	2,2311	*
19	43; 18	2	31,2753	2,2287	*
20	43; 24	2	16,2932	2,2279	*
21	24; 6	2	14,5080	2,2279	*
22	24; 12	2	76,8130	2,2258	*
23	24; 18	2	15,4549	2,2245	*
24	18; 6	2	8,8506	2,2287	*
25	18; 12	2	20,8322	2,2263	*
26	12; 6	2	7,5519	2,2312	*

* Significativo a 95%; ns: não significativo.

FONTE: A AUTORA (2016).

Observa-se que a grande maioria das hipóteses de agrupamento testadas apresentaram diferenças significativas, não sendo possível detectar tendências de agrupamento com as classes de idades mais próximas. Apenas duas hipóteses de agrupamento não apresentaram diferenças significativas a 5% de probabilidade de erro (5 e 10), porém, ao analisar as classes de idade contidas nestas hipóteses, este fato torna-se estranho porque essas classes de idade não são sequenciais, o que na prática não fornece ao processo de ajuste das funções de afilamento mais agilidade.

5.5 EVOLUÇÃO DOS FATORES DE FORMA

Os fatores de forma natural e artificial médios calculados por idade estão dispostos na Tabela 12. Nota-se que o fator de forma natural aumenta com o passar do tempo, indicando melhoria no afilamento das árvores já que os valores dos fatores de forma aproximam-se cada vez mais de 1, chegando ao ápice do valor aos 22 anos, quando então praticamente estabiliza-se, porém tende a sofrer uma leve redução nos próximos anos.

TABELA 12 - FATORES DE FORMA NATURAL ($f_{0,1}$) E ARTIFICIAL ($f_{1,3}$) MÉDIOS POR IDADE PARA *Araucaria angustifolia*

IDADE (ANOS)	$f_{0,1}$	$f_{1,3}$
5	0,419	0,623
6	0,454	0,560
7	0,476	0,520
8	0,487	0,531
9	0,501	0,511
10	0,513	0,518
11	0,526	0,525
12	0,535	0,528
13	0,545	0,536
14	0,555	0,544
15	0,565	0,551
16	0,570	0,554
17	0,575	0,558
18	0,587	0,567
19	0,592	0,572
20	0,597	0,575
21	0,601	0,578
22	0,604	0,581
23	0,603	0,578
24	0,602	0,577
43	0,570	0,536

FONTE: A AUTORA (2016).

O fator de forma artificial sofre mais oscilações nos primeiros anos de idade do povoamento, apresentando os maiores valores nessas idades iniciais revelando o efeito do uso do dap (com altura fixa de 1,30 metros) como diâmetro de referência. Segundo Burger, Machado e Hosokawa (1980) o fator de forma artificial não simula diretamente a forma geométrica do tronco da árvore, representando apenas um fator de redução para o cálculo do volume.

Quando o povoamento atinge 9 anos, o fator de forma artificial tem o mesmo comportamento do fator de forma natural, aumentando até alcançar os 22 anos quando tende a diminuir de forma tênue com o avanço da idade para os dados provenientes da análise de tronco. Essa ligeira diminuição tanto do fator de forma artificial, quanto do natural, pode estar relacionado aos desbastes seletivos realizados na área aos 22 anos. Conforme Flury⁶ (1903 citado por Larson 1963) quando o desbaste é realizado a competição entre as árvores do povoamento

⁶ FLURY, P. **Einfluss verschiedener Durchforstungs grade auf Zuwachs und Form der Fichte und Buche**. Mitt. Schweiz. Central-anstalt forstl. Versuchsw. 7:1-246. 1903.

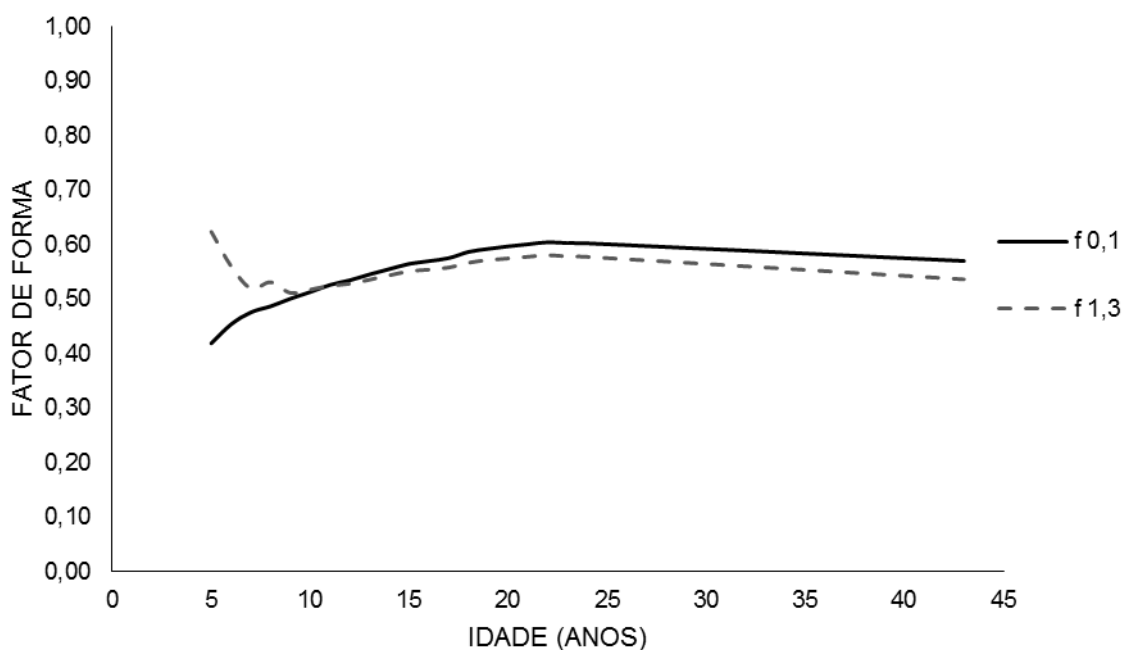
diminui e então o crescimento em diâmetro é favorecido, contribuindo dessa forma para o aumento do afilamento.

Observa-se que os fatores de forma natural e artificial apresentam significativa queda nos valores aos 43 anos. Porém, vale ressaltar que esses dados foram coletados em área diferente dos coletados nas demais idades e com outra metodologia. E, portanto, essa diminuição nos valores não significa necessariamente que a forma do fuste da araucária piore em idades mais avançadas.

Segundo Scolforo e Thiersch (2004) quando as árvores apresentam menos de 13 metros de altura, o fator de forma artificial é maior que o fator de forma natural, invertendo essa ordem quando as árvores passam a ser maiores que essa altura. E quando as árvores apresentam exatamente 13 metros de altura, os fatores de forma artificial e natural são iguais.

Para o presente povoamento, as árvores apresentam valores de fatores de forma artificial e natural mais próximos quando o povoamento atinge 11 anos de idade, sugerindo que nessa idade as árvores alcançam 13 metros de altura. Quando plotadas as curvas de evolução dos fatores de forma (Figura 9), é possível observar que aproximadamente nessa idade as curvas se cruzam.

FIGURA 9 - EVOLUÇÃO DO FATOR DE FORMA NATURAL E ARTIFICIAL PARA *Araucaria angustifolia*

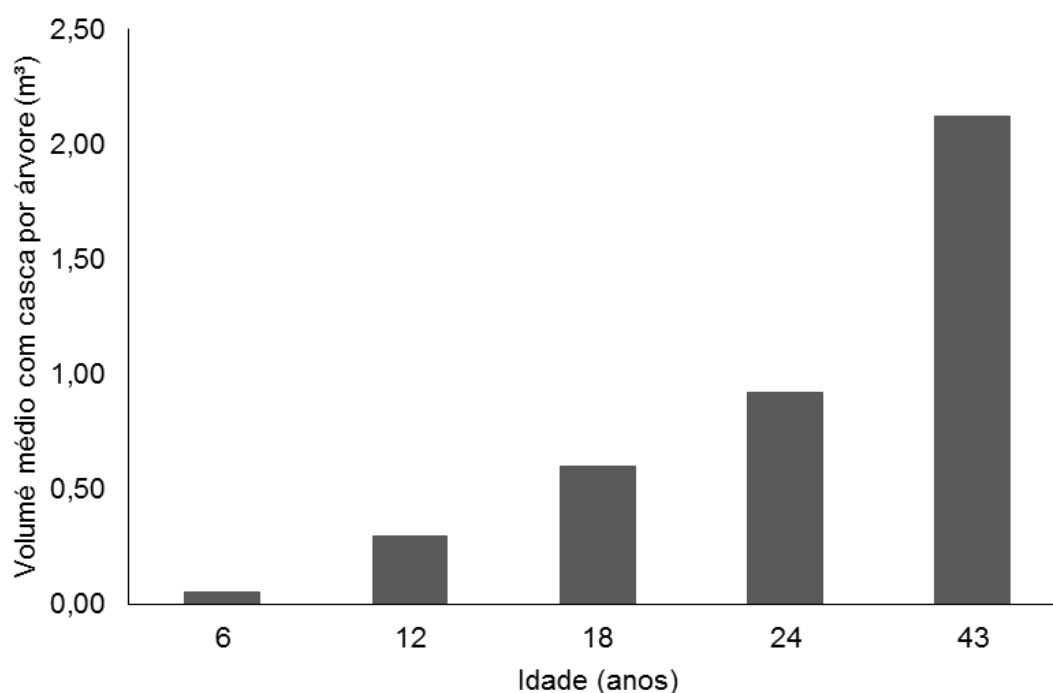


FONTE: A AUTORA (2016).

5.6 EVOLUÇÃO DO SORTIMENTO

Após o ajuste e seleção do polinômio de Schöepfer para descrever o afilamento do conjunto de dados, a função foi inserida no programa FlorExcel® para o cálculo dos volumes por classes de idade e de sortimento. A evolução do volume médio por árvore está representada na Figura 10.

FIGURA 10 - EVOLUÇÃO DO VOLUME MÉDIO POR ÁRVORE DE *Araucaria angustifolia*



FONTE: A AUTORA (2016).

Observa-se que o volume médio por árvore para a idade de 43 anos é bastante elevado, alcançando em média, um volume total com casca de 2,21 m³ por árvore. Kohler et al. (2010), analisando a evolução do sortimento para *A. angustifolia* na região de Irati, Estado do Paraná, encontraram em média 1,14 m³ por árvore em plantios com 50 anos de idade. Quando esses autores estratificaram os dados em Sítio I e Sítio II esse volume médio aumentou para 1,94 m³ no melhor Sítio (I).

Essa diferença entre as médias do volume por árvore pode ser explicada devido às diferenças de sítio em que estes povoamentos estão inseridos, estando a região de Quedas do Iguaçu nos melhores sítios para a espécie, e a região de Irati, em sítios mais inferiores conforme a classificação feita por De Hoogh, Dietrich e Ahrens (1978). Mesmo no melhor sítio encontrado por Kohler et al. (2010) a média

do volume total por árvore ainda é inferior, mesmo aos 50 anos, do que o alcançado nesta pesquisa em plantios com 43 anos de idade, atestando a superioridade do Sítio na região de Quedas do Iguaçu para a espécie.

Figueiredo Filho et al. (2015) encontraram volume com casca médio de 0,968 m³ por árvore aos 30 anos em plantios de *A. angustifolia* em Laranjeiras do Sul, Paraná, município que fica nas proximidades da região Quedas do Iguaçu, confirmando a superioridade do sítio, já que aos 24 anos de idade as árvores da presente pesquisa alcançaram em média 0,919 m³ com casca.

De Hoogh (1980) fez uma classificação de sítio mais detalhada para a espécie, além de mensurar a altura dominante, coletou dados referentes a aspectos de clima e solo em parcelas no Sul e Sudeste do Brasil. Nessa classificação, nas parcelas alocadas na região de Quedas do Iguaçu, o solo coletado foi classificado como Latossolo Roxo, argiloso, profundo e bem drenado. Essas características de solo citadas anteriormente atendem exatamente às particularidades da relação espécie-solo exigidas pela *A. angustifolia* para alcançar o máximo crescimento de acordo com De Hoogh, Dietrich e Ahrens (1978).

A evolução do volume médio por árvore (m³) em cada classe de sortimento, assim como os volumes médios comerciais e totais por árvore para *A. angustifolia* estão apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 - EVOLUÇÃO DO VOLUME MÉDIO POR ÁRVORE (m³) NAS CLASSES DE SORTIMENTO

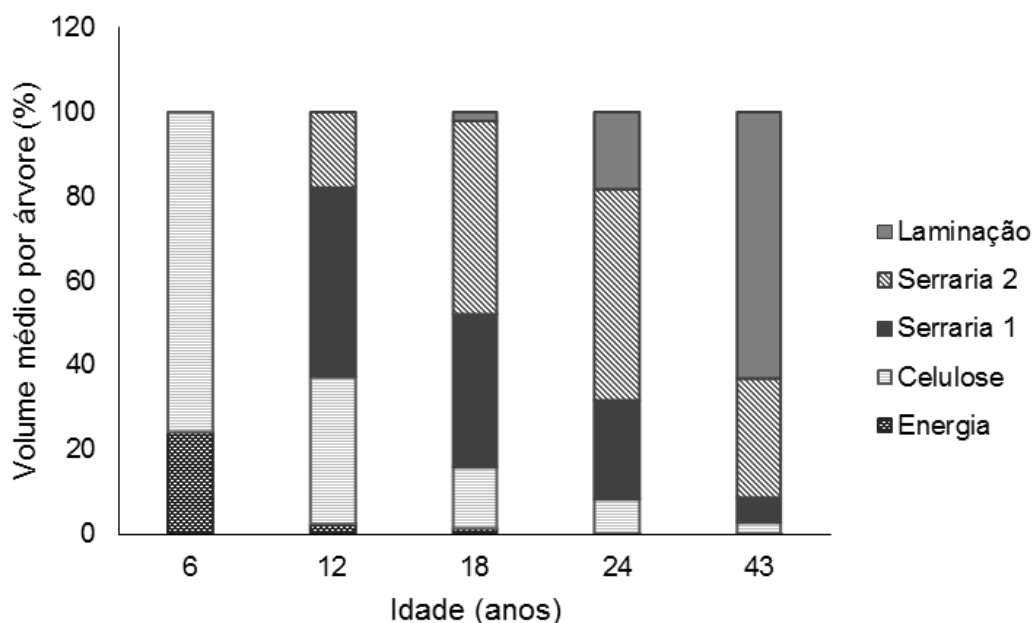
IDADE	ENERGIA	CELULOSE	SERRARIA 1	SERRARIA 2	LAMINAÇÃO	COMERCIAL	TOTAL
6	0,01020	0,03227	0	0	0	0,04247	0,0503
12	0,00691	0,09693	0,12370	0,05018	0	0,27772	0,2942
18	0,00708	0,08332	0,20782	0,26312	0,01278	0,57412	0,5990
24	0,00534	0,06748	0,20824	0,44006	0,16145	0,88257	0,9189
43	0,00377	0,05432	0,12137	0,57765	1,29186	2,04897	2,1209

FONTE: A AUTORA (2016).

A Figura 11 mostra a proporção do volume em porcentagem de cada tipo de sortimento para cada classe de idade. Observa-se que as primeiras classes de sortimento, aquelas com as menores dimensões, diminuem a representatividade com o aumento da idade do povoamento, o que já era esperado uma vez que com o avanço da idade as árvores crescem e aumentam as suas dimensões, sendo então,

possível retirar toras destinadas a classes de sortimento maiores e consequentemente mais valiosas no mercado florestal.

FIGURA 11 - EVOLUÇÃO PERCENTUAL DO SORTIMENTO PARA *Araucaria angustifolia*



FONTE: A AUTORA (2016)

A proporção do fuste destinado à Energia foi representativa apenas para a classe de seis anos de idade com cerca de 24% do volume total do povoamento, o que corresponde em média a 0,1020 m³. Para as demais classes de idade esse tipo de sortimento praticamente é inexistente, representando cerca de 2,5% do volume total com casca para a idade de 12 anos, chegando a representar 0,18% aos 43 anos.

O percentual médio do volume por árvore destinado à Celulose representa cerca de 75% do volume médio com casca por árvore aos 6 anos, correspondendo em média a uma tora por árvore para essa idade. Dos 12 aos 24 anos, foi possível retirar em média 4 toras por árvores. Nessa classe de sortimento as toras têm 2,4 metros de comprimento.

Aos 12 anos as árvores alcançam as dimensões necessárias para atender ao mercado da Serraria 1. Nessa idade, esse sortimento representa cerca de 45% do volume médio do povoamento, o que corresponde a 0,1237 m³ por árvore em média, o que equivale em média a uma tora por árvore para essa destinação (3,1 metros de comprimento). Nas classes de idade seguintes, 18 e 24 anos, é possível

retirar em média duas toras por árvore, o que corresponde a aproximadamente 36 e 24% da destinação do povoamento para essa classe de sortimento respectivamente.

A classe de sortimento Serraria 2 apresenta comportamento diferente das demais classes discutidas anteriormente. Tendendo a aumentar sua representatividade no volume médio por árvore dos 12 anos (18,07%) até alcançar 50% aos 24 anos, e a partir desse ponto, reduzir o percentual de destinação a 28% aos 43 anos, quando as árvores alcançam dimensões que possibilitam a extração de toras para Laminação.

Laminação é considerada a classe de sortimento mais valiosa em termos financeiros, e as dimensões necessárias para retirada desse tipo de produto são alcançadas somente a partir dos 18 anos, tendendo a aumentar consideravelmente na medida em que o povoamento evolui, representando cerca de 63% do volume total o que corresponde em média a 1,2918 m³ por árvore para a classe de idade mais avançada (43 anos), representando em média duas toras de 3,1 metros de comprimento por árvore. Nas demais classes de idade, esse tipo de destinação praticamente não é encontrado.

Kohler et al. (2015), analisando a evolução do sortimento para plantios de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina, também constataram um alto percentual de crescimento nos volumes destinados a laminação de uma classe para a outra; da classe 13 a 15 anos de idade passam de 4,26% do volume total para 15,51% na classe subsequente (16 a 18 anos) para o povoamento localizado no estado do Paraná; e de 8,76% (classe 16 a 18 anos) para 30,87% (classe 19 a 22 anos) do volume total no caso do povoamento do Estado de Santa Catarina. Esses mesmos autores afirmaram ainda que esse tipo de informação mostra nitidamente como o sortimento pode se alterar de maneira drástica de um ano para outro, tendo, portanto, elevada importância na tomada de decisões em relação ao momento certo para realizar intervenções na floresta.

Em plantios de *A. angustifolia* da região de Laranjeiras do Sul - Paraná, o sortimento estudado por Figueiredo Filho et al. (2015) evoluiu da seguinte forma: na classe de idade de 6 a 10 anos, a maioria do volume das árvores foi destinado a Celulose (cerca de 70%) e Energia (cerca de 15%) e apenas 12% do volume para Serraria 1; já na classe de 11 a 15 anos, a maior porcentagem do volume passa a ser para Serraria 1 (49,1%) e nessa classe já foi possível encontrar madeira para Serraria 2 (7,2%); a porcentagem destinada à Serraria 2 aumenta no decorrer dos

anos, chegando a 67,2% na classe de 26 a 30 anos; para volumes destinados à laminação, o percentual inicia-se na classe de 21 a 25 anos com apenas 1,2%, no entanto, na classe 26 a 30 anos esse sortimento já é de 4,4%; esses autores afirmaram que essa porcentagem deve aumentar com o avanço da idade, quando as toras migram nas classes de sortimento.

6 CONCLUSÕES

A técnica de análise de tronco completa (ANATRO) constitui-se em um meio eficiente para estudos da evolução da forma do tronco e do sortimento para povoamentos de *Araucaria angustifolia*.

As funções de afilamento ajustadas, de forma geral, descrevem de maneira satisfatória o perfil médio das árvores estudadas, fornecendo informações concretas quanto a evolução da forma do fuste de *Araucaria angustifolia*.

Os perfis médios ajustados nas diferentes classes de idade apresentam diferença significativa de acordo com o teste F de Graybill, indicando que a forma das árvores muda com o avanço da idade.

O fator de forma natural indica a melhoria da forma do fuste, já o fator de forma artificial não descreve a forma geométrica das árvores nas idades mais jovens devido a influência do uso do dap utilizado no cálculo da área transversal do cilindro, no entanto, a partir dos 9 anos do povoamento, esse fator de forma tem comportamento análogo ao fator de forma natural.

As idades em que o povoamento começa a fornecer toras para serraria e para laminação são respectivamente 12 e 18 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELO, H.; CASTRO, L. H. R.; HOSOKAWA, T. R.; KIRCHNER, F. F. Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de Pinus tropicais. **Floresta**, Curitiba, v. 25, n.1/2, p.55-67, 1997.

ARAUPEL. **Araupel: Conheça a Araupel: Sobre nós.** Disponível em <http://www.araupe.com.br/sobre-nos/sobrenos/>. Acesso em 28 de maio de 2015.

ARCE, E. D. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte.** 2000. 125 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2000.

ARAÚJO, E. J. G.; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C.; MIRANDA, R. O. V.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S. Relações dendrométricas em fragmentos de povoamentos de pinus em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 355-366, 2012.

ASSMANN, E.; DAVIS, P.W. **The principles of forest yield study: studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands.** Oxford: Pergamon Press, 1970.

ASSOCIAÇÃO DE PRESERVAÇÃO DO MEIO AMBIENTE E DA VIDA – APREMAVI. **Floresta com Araucárias.** Disponível em <http://www.apremavi.org.br/floresta-com-araucarias>. Acesso em 03 de dezembro de 2015.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL – BRDE. **Cultivo da Araucaria angustifolia: Viabilidade econômico-financeira e alternativas de incentivo.** 2005. 53 p. Disponível em http://novosite.fepese.org.br/portaldeeconomia-sc/arquivos/links/madeira_moveis_papel/2005%20Cultivo%20da%20araucaria%20SC.pdf. Acesso em 07 de janeiro de 2016.

BURGER, D.; MACHADO, S. A.; HOSOKAWA, R. T. Estudo do Desenvolvimento da Forma de *Araucaria angustifolia* com relação a idade. In: Encontro da IUFRO (International Union for Forestry Research Organization), **Anais...** Curitiba: Anais do encontro da IUFRO (International Union for Forestry Research Organization) 1980. p. 320-329.

CALDEIRA, M. V.; SCHUMACHER, M. V.; SCHEEREN, L. W.; WATZLAWICK, L. F. Relação hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na região oeste do estado do Paraná. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v.1, n.2, p. 79-88, abr./jun. 2003.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 2.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

CANCINO, J. **Dendrometría Básica**. Dirección de Docencia. Universidad de Concepción, 171p., 2006.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 1994.

CURTO, R. A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; ZACHOW, R.; PÉLLICO NETTO, S. Caracterização da estrutura e desenvolvimento de modelos para quantificação do potencial madeireiro em povoamento não manejado de *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 303-319, out./dez. 2014.

DANIEL, O.; YARED, J. A. G. **Procedimentos para análise de tronco de espécies florestais**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1987.

DAVID, H. C.; MARINHESKI FILHO, A.; PELISSARI, A.; PÉLLICO NETTO, S.; ARAÚJO, E.; BAUM, L. Critérios de estratificação para o ajuste de funções de afilamento em fustes de pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, p. 197-206, 2014.

DE HOOGH, R. J.; DIETRICH, A. B.; AHRENS, S. Classificação de sítio, tabela de volume e de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. **Brasil Florestal**, Brasília, n. 36, p. 58-82, 1978.

DE HOOGH, R. de; DIETRICH, A. B. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 10, n. 37, p. 120 19-92, 1979.

DE HOOGH, R. J. **Site-nutrition-growth relationships of *Araucaria angustifolia*. (Bert.) O. Ktze. In Southern Brasil**. 1981. 161 f. Tese (Ph. D.) Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 1981.

EISFELD, R. L.; VIGOLO, D. Z.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A. Modelo de Hradetzky aplicado à estimativa do volume total para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ambiência: Ciências Agrárias e Ambientais**, v.4, n.1, jan./abr. 2008.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da; PINTO, J. R. R. Idade e crescimento das árvores /. – Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 43p. (Comunicações técnicas florestais; ISSN 1517-1922; v.7, n.1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGRIPECUÁRIAS - EMBRAPA. **Mapa simplificado de solos do estado do Paraná**. 2012. Disponível em http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/mapa_solos_pr.pdf. Acesso em 28 de maio de 2015.

EQUIPE ESTATCAMP. **Software Action**. Estatcamp - Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil, 2014. Download: <http://www.portalaction.com.br/>. Acesso em 15 de janeiro de 2016.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e sua avaliação econômica.** 138 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1991.

FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S. V.; FELDE, J. L.; DIAS A. N. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 595-603, 2014.

FIGUEIREDO FILHO A, RETSLAFF F.A.S.; KOHLER S.V.; BECKER M; BRANDES D. Efeito da Idade no Afilamento e Sortimento em Povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 1, p. 50-59, 2015.

FIGUEIREDO, E. O.; SCHROEDER, R.; PAPA, D. de A. **Fatores de forma para 20 espécies florestais comerciais da Amazônia.** Rio Branco: EMBRAPA, 2009. 4 p. Comunicado Técnico 173.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992.

FONTES, B. P. D.; DAVIDE, L. C.; DAVIDE, A. C. Fisiologia e citogenética de sementes envelhecidas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 346-355, 2001

FRIEDL, R. A. **Dinâmica e prognose da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 1989. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 1989.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ – FUPEF; Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF. **Inventário Florestal do Pinheiro no Sul do Brasil: Relatório Final.** Curitiba. 1978. 327p.

GARAY, L. **Tropical forest utilization system: a taper model for entire stem profile including buttressing.** Seattle: Coll. Forest. Res.; Inst. Forest Prod., 1979.

GRAY, H. R. **The form and taper of forest-tree stems.** University of Oxford, Institute Paper, n.32, 1956, 80 f.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model.** Belmont: Duxbury Press, 1976.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abhänger Keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten).** Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976.

HOPPE, J. M.; CALDEIRA, M. V. W. Correlações entre o crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, plantada na Floresta Nacional de Passo Fundo, RS com as características químicas do solo. **Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, v.1, n.4, p. 33-40, out./dez. 2003.

HUECK, K. Distribuição e habitat natural do Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*). **Botânica**, São Paulo, v.10, p. 5-24, 1953.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**. São Paulo: Polígono, 1972.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. New York: Ronald Press Co., 1982.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF. **Zoneamento econômico florestal do Estado do Rio Grande do Sul**. Curitiba, 1971. 125 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

KOCH, Z.; CORRÊA, M.C. **Araucária: A floresta do Brasil Meridional**. 2 Ed. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2010.

KOEHLER, Alexandre Bernardi. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., em Tijucas do Sul, estado do Paraná**. 2009. 128f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2009.

KOHLER, S. V.; FELDE, J.L.; VERUSSA, A. A.; FIGUEIREDO F, A.; DIAS, A. N. Evolução do Sortimento em Plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em Dois Sítios Diferentes. In: XIX Encontro Anual de Iniciação Científica, 2010, Guarapuava. **Anais...** Guarapuava: XIX EAIC, 2010. p. 1-4.

KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina**. 2013. 84f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2013.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n.3, p. 545-554, 2015.

LASER TECHNOLOGY, INC. The 1st **Electronic BAF-scope / Dendrometer: User's Manual**. Centennial, CO. 3 ed. 2006.

LARSON, P.R. Stem form development of forest trees. **Forest Science Monograph**, Washington, p.1-41, 1963.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Árvore**, Viçosa, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. v. 1. Nova Odessa, São Paulo: Plantarum, 1992.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas nativas do Brasil**. 3 ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000.

LOUREIRO G. H.; CURTO, R. A.; ROSOT N. C.; MARANGON G.P. Avaliação de equações de afilamento em um plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando o diâmetro como variável dependente. IN: 4 ° Congresso Florestal Paranaense. Curitiba, 2012. **Anais...** Anais do 4º Congresso Florestal Paranaense: Manejo de Florestas Plantadas. 2012. Disponível em http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/04-Manejo_Plantadas/MF_Plantadas_Artigo-05.pdf. Acesso em 17 de novembro de 2015.

MAACK, R.; **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: José Olympio, 1981.

MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. . In: Encontro da IUFRO (International Union for Forestry Research Organization), 1979, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Anais do encontro da IUFRO (International Union for Forestry Research Organization) 1980. p. 4-9.

MACHADO S. A. Influência da idade na forma do fuste de *Araucaria angustifolia* em plantações no Brasil. In: 5º Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais: o uso de funções de forma de tronco em estudo de volumetria de espécies florestais, 1982. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA; 1982. p. 51-55.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava: Unicentro. 2 Ed, 2006.

MÔRA, R. **Funções de afilamento de forma variável e modelagem de efeitos mistos em fustes de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna***. 2015. 274 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2015.
NEWNHAM, R. M. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.22, n.2, p.210-223, 1992.

NICOLETTI, M. F. **Comparação de métodos não-destrutivo de cubagem de árvores em pé visando à determinação da biomassa**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Ciências Florestais, Programa de Pós-graduação em Recursos Florestais. Piracicaba, 2011.

NICOLETTI, M. F.; SILVA, E; FLORIANI, M. M. P. Metodologia não destrutiva para quantificação do volume e biomassa do fuste em remanescente florestal. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 04, p. 287-291, out./dez. 2015.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, 2001.

NUTTO, L.; MACHADO S. A.; CAVALHEIRO, R.; SILVA, L. C. R. Comparação de Metodologias para Medição de Anéis de Crescimento de *Mimosa scabrella* e *Pinus taeda*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 135-144, jun. 2012.

OLIVEIRA, M. L. R., COSTA, L. E., BRITO, L. A., LIMA, F. G., MIRANDA, L. P. Uso do Criterion RD1000 para estimativas de diâmetro ao longo do fuste e altura em árvores de eucalipto. IN: I Semana da Integração: Ensino Pesquisa e Extensão, 2012. Diamantina. **Anais...** Diamantina: I Semana da Integração: Ensino Pesquisa e Extensão, 2012. Disponível em http://site.ufvjm.edu.br/revistamultidisciplinar/files/2011/09/Anais_SINTEGRA_2012.pdf. Acesso em 10 de janeiro de 2016.

OLIVEIRA, K. A. de. Desempenho de diferentes instrumentos para mensuração de altura total, DAP e volume em *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. F.) D. DON. IN: Encontro de Iniciação Científica em desenvolvimento tecnológico, 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Livro de Resumos UFPR, 2013. p. 443.

OPTIMBER. **FlorExel – Forestry Functions for Microsoft Excel**, version 3.12. OpTimber Otimização e Informática. Curitiba, Paraná, Brasil, 2015. Download (www.optimber.com.br)

PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt am Main: J. D. Saverlander's, 1965.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose: IICA, 1997.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da Região Metropolitana de Curitiba - PR**. 2006. 117 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba, 2006.

QUEIROZ, D.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. ARCE, J. E; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, abr./ jun. 2008.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Ceres**, Viçosa, v.40, p.176-195, 1993.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 3.ed., rev. e ampl. Curitiba: Multi-Grafic Gráfica e Editora, 2014. 406 p.

SCHEEREN, L. W.; GEHRARDT, E. J.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J.; SCHNEIDER, P. R. Agrupamento de unidades amostrais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Em função de variáveis do solo, da serapilheira e das acículas, na região de Canela, RS. **Ciência Florestal**, v.10, n.2, p. 39-57. 2000.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M.; TOTTI, J. A.; BAZZO, J. L. Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* para o estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 79-88, 1996.

SCHÖEPFER, W. **Automatisierung des massem, sorten und wertberechnung stenender waldbestände schriftenreihe Bad**. Koblenz: Wurt-Forstl., 1966.

SCOLFORO, J. R. S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria Florestal: Medição e Volumetria de Árvores Florestais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

SCOLFORO, J. R. S. THIERSCH, C. R. **Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO PARANÁ – SEAB. Boletim dos preços das toras. 2012. Disponível em http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/qas/uploads/3175/produtos_florestais_agosto_2012.pdf. Acesso em 07 de janeiro de 2016.

SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; BOGNOLA, I. A. Recomendação de solos para *Araucaria angustifolia* com base nas suas propriedades físicas e químicas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 43, p. 61-74, jul./dez. 2001.

SILVA, J. L. R. da. **Modelos volumétricos, fatores de forma e equação de afilamento para floresta de terra firme da região do Rio Aru município de Portelará**. 2007. 85 f. Tese (Mestrado) – Universidade Rural da Amazônia, Pós-graduação em Ciências Florestais. Belém, 2007.

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SISFLOR. **Mercado Florestal Certificado**. Vol. 1, 2008. Disponível em <http://www.sisflor.org.br/download/boletim01.pdf>. Acesso em 07 de janeiro de 2016.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2011.

SOUZA, C. A. M.; CHASSOTI, T.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D. Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2506-2511, dez, 2008.

SPIECKER, H. The rings and forest management in Europe. **Dendrochronologia**, v.20, n. 1-2, p. 217-231, 2002.

REITZ, R.; KLEIN, R.M. **Araucariáceas**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Sellowia, Itajaí, n.34/35, 525p. 1983.

RODRIGUEZ, F.; FERNÁNDEZ, A. Herramientas de cubicación sin necesidad de apeo de árboles. **Montes**, Madrid. n. 98, p.83-88, 2009.

RODRIGUEZ, F; LIZARRALDE, I.; FERNÁNDEZ, A.; CONDÉS, S. Non-destructive measurement techniques for taper equation development: a study case in the Spanish Northern Iberian Range. **European Journal of Forest Research**, n. 133, p. 213-223, 2014.

RUTTEN, G.; ENSSLIN, A.; HEMP, A.; FISCHER, M. Forest structure and composition of previously selectively logged and non-logged montane forests at Mt. Kilimanjaro. **Forest Ecology and Management**, n. 337, p. 61-66. 2015.

TÉO, S. J.; MARCON, A.; EHLERS, T.; BIANCHI, J. C.; PELOSO, A.; NAVA, P. R.; COSTA, R. H. Modelos de afilamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de Caçador, SC. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 439-452, 2013.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER, P. R.; & FINGER, C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

YOON, T. K., PARK, C.W.; LEE, S.J.; KO, S.; KIM, K. N.; SON, Y.; LEE, K. H.; OH, S.; LEE, W.K.; SON, Y. Allometric equations for estimating the aboveground volume of five common urban street tree species in Daegu, Korea. **Urban Forestry & Urban Greening**, n. 12, p. 344-349. 2013.

YOSHITANI JR., M.; NAKAJIMA, N. Y.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DRUSZCZ, J. P.; HOSOKAWA, R. T.; MELLO, A. A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012.

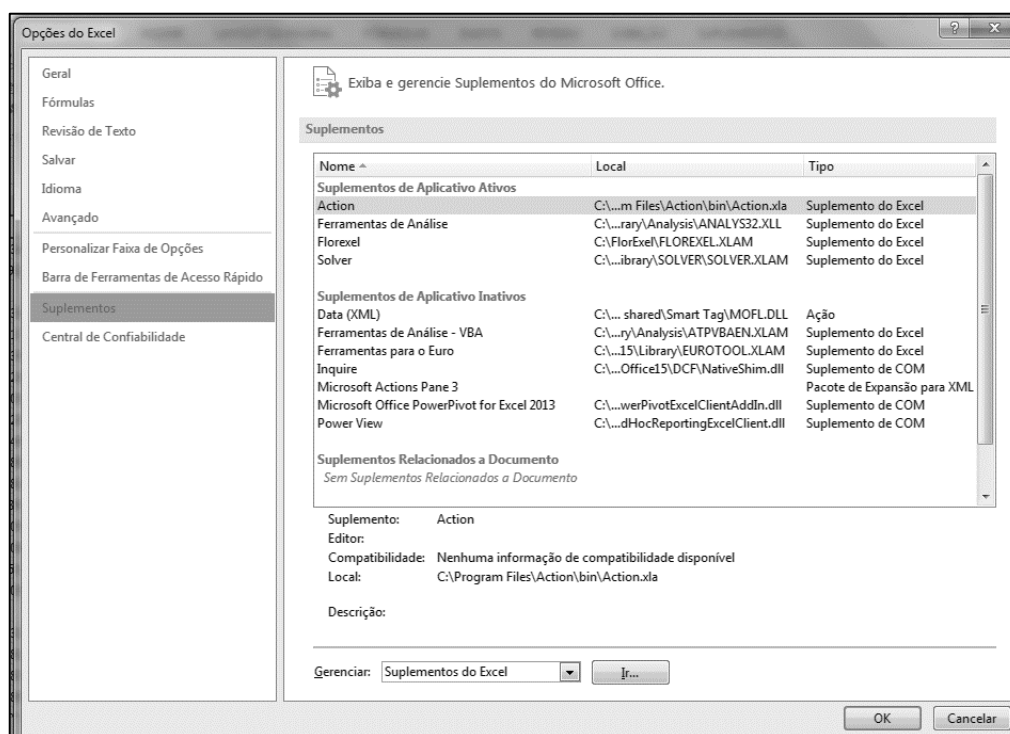
APÊNDICE 1 - UTILIZAÇÃO DO SUPLEMENTO ACTION

PROCEDIMENTOS PARA REALIZAÇÃO DE *Stepwise*

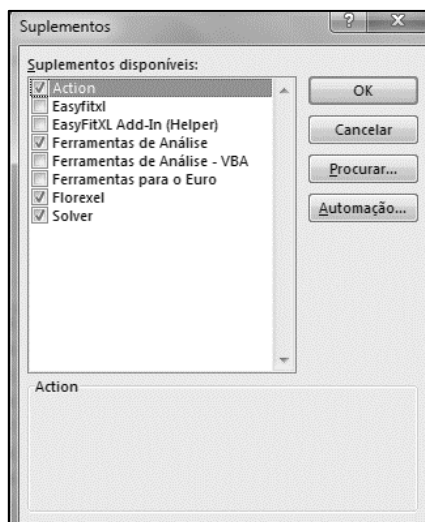
- 1) Para fazer o download do suplemento Action acessar o endereço eletrônico:

<http://www.portalaction.com.br/content/download-action>

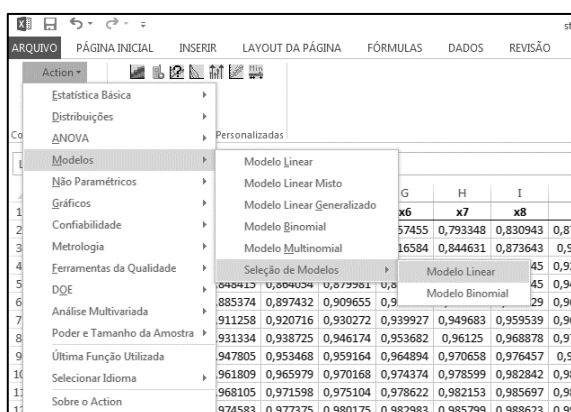
- 2) Preencher o formulário e fazer o Download.
- 3) Realizado o *download*, instalar o programa na máquina.
- 4) Abrir o Excel e habilitar o suplemento Action: na aba Arquivo → Opções → Suplementos → Gerenciar → Ir...



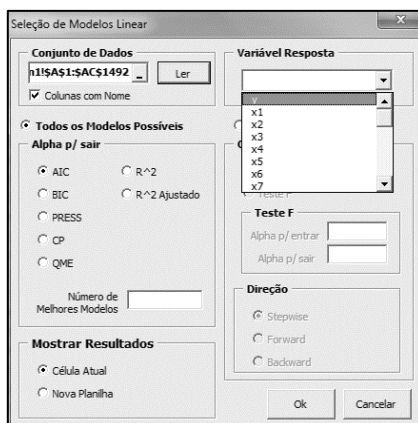
- 5) Habilite a opção Action, clique em OK:



- 6) Com o Suplemento Action habilitado, para fazer a seleção de modelos por *Stepwise* clicar na aba de ferramentas em Suplementos → Action → Modelos → Seleção de Modelos → Modelo Linear.



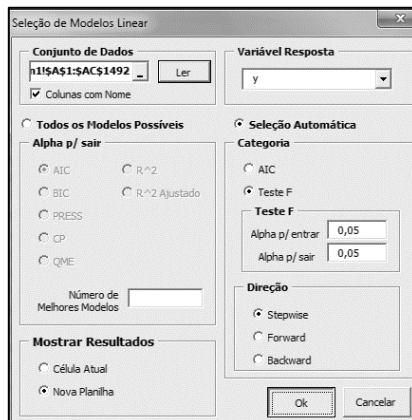
- 7) Na seleção de modelos selecione o conjunto de dados correspondente incluindo a variável dependente desejada e as variáveis independentes a serem testadas para a seleção, clique em “Ler”.
- 8) Selecione a variável resposta (variável dependente) de acordo com o conjunto de dados.



Obs.: Se a primeira linha corresponder a denominação das variáveis habilite a opção “Colunas com Nome”.

9) Selecione a opção “Seleção Automática” e a categoria desejada.

10) Selecione a Direção “Stepwise”, o local onde Mostrar Resultados e clique em OK.



11) O programa mostrará os resultados no local indicado mostrando as variáveis que entraram e saíram.

13) Para o conjunto de dados utilizado, o modelo construído por *Stepwise* foi:

$$\frac{di}{dap} = b_0 + b_1 \left(\frac{hi}{ht} \right) + b_2 \left(\frac{hi}{ht} \right)^{0,005} + b_3 \left(\frac{hi}{ht} \right)^3 + b_4 \left(\frac{hi}{ht} \right)^{10}$$

Obs.: Ressalta-se que os dados utilizados para este exemplo não foram os mesmo que os utilizados para o ajuste do polinômio de potências inteiras e fracionárias dessa dissertação, e portanto, as potências selecionadas não foram as mesmas.